

Анализ влияния климат-зависимых факторов на формирование зоопланктонных сообществ арктических озер бассейна реки Анабар

Л. А. ФРОЛОВА¹, Л. Б. НАЗАРОВА², Л. А. ПЕСТРЯКОВА³, У. ХЕРЦШУХ²

¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет
420008, Казань, ул. Кремлевская, 18

² Институт полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера
14473, Германия, Потсдам, Телеграфенберг, А43

³ Северо-Восточный федеральный университет
677891, Якутск, ул. Белинского, 58
E-mail: Larissa.Florova@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Проанализированы основные структурные характеристики зоопланктонных сообществ 35 арктических озер водосборного бассейна р. Анабар (Якутия). Оценено экологическое состояние данных озер. С использованием метода непрямо́й ординации выявлены структурообразующие абиотические факторы, оказывающие наибольшее влияние на формирование зоопланктонных сообществ.

Ключевые слова: зоопланктон, арктические озера, метод непрямо́й ординации, канонический анализ соответствия.

На территории Республики Саха (Якутия) расположены сотни тысяч озер, основная масса которых сосредоточена в Вилуйской, Яно-Инди́гирской и Колымо-Инди́гирской низменностях, где озерами покрыто 10–12, местами до 60 % территории [1]. Многочисленные озерные экосистемы Якутии из-за их удаленности и труднодоступности слабо изучены и освоены. Большинство водоемов криолитозоны Якутии представлено небольшими по площади и неглубокими озерами термокарстового или пойменного происхождения, характеризующимися специфическими термальным и химическим режимами, что делает их крайне чувствительными к климатическим изменениям [2, 3].

Условия окружающей среды для гидробионтов, населяющих эти уникальные пресноводные экосистемы, экстремальны: короткий вегетационный период (большую часть года водоемы покрыты льдом), низкие температуры, высокий уровень ультрафиолетовой радиации, часто незначительное содержание биогенных элементов [4, 5]. Низкие температуры в течение года замедляют процессы деградации органики в почвах, в результате с водосборных бассейнов поступает незначительное количество биогенных элементов и, как следствие, озера часто характеризуются как олиготрофные [6]. Низкая продуктивность водоемов и упрощенная видовая структура обуславливают формирование коротких пищевых

цепей с доминированием одного или нескольких видов гидробионтов [7].

Большинство организмов высоких широт адаптировано (узко специализировано) к специфическим экстремальным условиям окружающей среды. Кроме того, именно арктические экосистемы, ограниченные сравнительно узким ареалом, в первую очередь оказываются под воздействием глобального изменения климата. По оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC) в течение XX в. температура поверхности земного шара уже увеличилась в среднем на $(0,6 \pm 0,2) ^\circ\text{C}$, а прогнозируемое увеличение температуры к 2100 г. составит 1,4–5,8 $^\circ\text{C}$. Климатические изменения приведут не только к повышению температуры окружающей среды, но и к изменению ряда других климат-зависимых параметров, таких как количество осадков, продолжительность ледового периода на водоемах, изменение уровня режима, таяние вечной мерзлоты, которое вызовет увеличение концентрации ионов и биогенных элементов в пресноводных экосистемах [8]. Ожидается, что потепление окажет значимое влияние на биоту пресноводных водоемов арктических и субарктических регионов, вызовет смещение или уменьшение ареалов распространения животных из-за подтаивания вечной мерзлоты и исчезновения части озер, из-за биоинвазий из более южных регионов [9].

Таким образом, необходим детальный, последовательный экологический и биологический мониторинг состояния арктических пресноводных экосистем, их структуры и изменений во времени как в целом, так и на уровне составляющих звеньев.

Зоопланктон является важным структурным и функциональным звеном водных экосистем, в частности, принимает участие в процессах самоочищения, служит кормовой базой рыб, поэтому используется в качестве индикаторной группы в мониторинге экологического состояния водоемов.

Задачи нашей работы – проанализировать основные структурные характеристики зоопланктона озер бассейна среднего и нижнего течения р. Анабар (северо-запад Якутии), оценить по ним экологическое состояние данных озер, а также выявить значимые факторы окружающей среды, обуславливающие

изменения в структуре зоопланктонных сообществ.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Комплексные гидрологические, гидробиологические и палеолимнологические исследования 35 озер проводили в течение летнего сезона 2007 г. в рамках совместной российско-германской научно-исследовательской экспедиции на территории Республики Саха (Якутия) в бассейне р. Анабар между $71^\circ 50'$ и $73^\circ 39'$ с. ш. и $110^\circ 82'$ и $115^\circ 75'$ в. д. (рис. 1). Анабар – самая крупная река северо-запада Якутии. Водосборный бассейн ее полностью расположен за Северным полярным кругом. Длина реки 939 км, площадь водосборного бассейна 104 461 км² [10]. Анабар берет начало на севере Среднесибирского плоскогорья, течет среди холмистой тундры Северо-Сибирской низменности и впадает в море Лаптевых, образуя Анабарскую губу. В бассейне реки свыше 22 тыс. озер [11], многие из которых соединены многочисленными протоками с рекой и между собой и служат на-

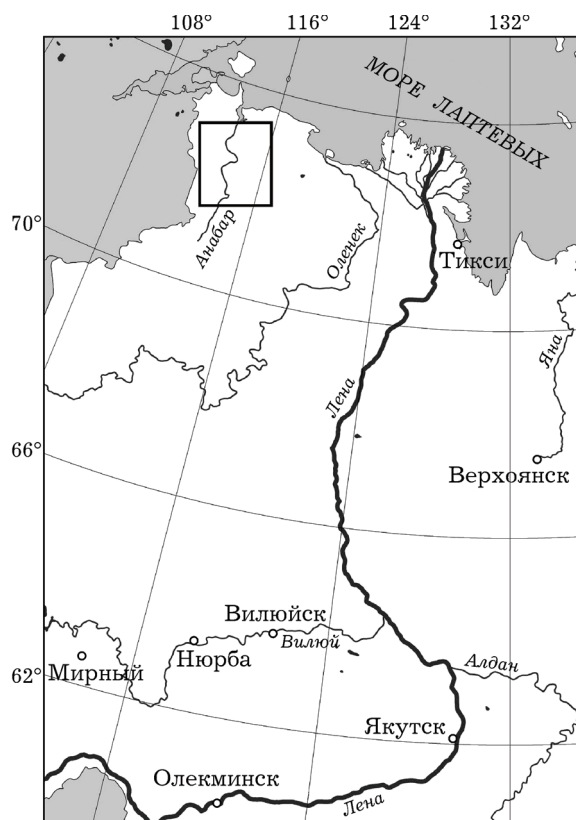


Рис. 1. Расположение региона исследования

гульными площадями для молоди сиговых и карповых рыб.

Климат в районе исследований резко континентальный. Осадков выпадает мало (140–350 мм), но это количество превышает годовое испарение из-за доминирования отрицательных температур [12].

Вся территория бассейна покрыта многолетней мерзлотой. Среднегодовая температура воздуха $-10...-13$ °С. Среднеиюльские температуры составляют $+10...+12$ °С. Абсолютный минимум температуры -65 °С [13]. Продолжительность безморозного периода не превышает 43–51 день [10]. Следовательно, мелкие реки и озера покрыты льдом и часто промерзают до дна в течение 9 мес. в году, что значительно ограничивает вегетационный период таких водных беспозвоночных, как ветвистоусые ракообразные.

Растительность на различных участках неоднородна. Лесотундра представлена редколесьем лиственницы даурской (*Larix dahurica* Turcz.) с незначительными вкраплениями лиственницы сибирской (*L. sibirica* Thunberg), подлесок сформирован кустами ивы (*Salix* spp.), березы тощей (*Betula exilis* Sukaczew), ольхи кустарниковой (*Alnus fruticosa* Rupr.). В тундре доминирующими видами являются береза тощая, ивы: шерстистая, сизая, красивая (*Salix lanata* L., *S. pulchra* Cham., *S. glauca* L.), багульник (*Ledum* spp.), пушица (*Eriophorum* spp.) [14].

Для исключения возможности смешения лимнического и реофильного комплексов видов зоопланктона в анализ включены озера, не имеющие протоков, связывающих их с лотическими системами, и не заливаемые в период половодья. Кроме того, исследованные озера испытывали минимальное антропогенное воздействие: лишь на пяти из 35 исследованных озер велось любительское рыболовство.

Количественные пробы зоопланктона отбирали процеживанием 100 л воды через малую сеть Апштейна (мельничный газ № 77, размер ячеек 64 мкм) с последующей фиксацией 4%-м раствором формалина. Сбор качественных проб осуществляли при тотальных вертикальных обловах зоопланктона той же сетью. Обработано 70 количественных проб зоопланктона. Камеральная обработка проб включала определение видового состава

зоопланктона, численности и биомассы. Пробы просматривали под микроскопом Axiostar plus (Carl Zeiss), встреченные организмы определяли до вида по специализированным определителям [15–22]. Биомассу рассчитывали по степенным уравнениям, связывающим длину и массу тела [23–25].

Параллельно с отбором проб зоопланктона для характеристики экологических условий существования водных организмов фиксировали основные морфометрические, гидрологические, гидрохимические показатели водоемов, а именно: определяли высоту озера над уровнем моря, тип растительного сообщества на прилегающей территории, площадь озер, максимальную глубину по эхолоту, прозрачность по диску Секки. Для определения температуры воды, содержания растворенного кислорода, pH и удельной электропроводности использовали портативный мультипараметровый аналитический прибор WTW 340i с соответствующими датчиками (температура и удельная электропроводность: Tetracon 325; растворенный кислород: CellOx[®] 325; pH: SenTix 41). Кроме того, в лаборатории Института полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера (Потсдам, Германия) в отобранных образцах воды определены: растворенный органический углерод, хлориды (Cl^-), сульфаты (SO_4^{2-}), силикаты (Si^{4+}), нитриты (NO_2^-), нитраты (NO_3^-), аммоний (NH_4^+), общий фосфор (P), карбонаты (HCO_3^-), а также некоторые металлы (Al^{3+} , Ca^{2+} , $\text{Fe}_{\text{общее}}$, Mg^{2+} , Mn^{2+} , Na^+).

Среднеиюльская температура воздуха в регионе вычислена по базе данных “The Gridded Climate Data” [26] на основе замеров на высоте 2 м выше уровня грунта стандартными метеорологическими методами. Для каждого озера температура воздуха рассчитана интерполяцией высоты над уровнем моря и удаленности от морского побережья. Согласно расчетам, озера расположены в пределах температурного градиента среднеиюльских температур от $+10,20$ до $+12,10$ °С. Хотя выбранный температурный градиент и невелик, он отражает реальные вариации температур в регионе и находится на границе смены растительных зон (типичная тундра, субарктическая тундра, редколесье).

В статистический анализ включены только те таксоны из состава зоопланктона, ко-

торые встречены хотя бы в двух озерах с относительной численностью 2 % или более хотя бы в одном озере. Согласно данному критерию, в анализе оставлены 26 из 35 обнаруженных в озерах таксонов. Метод непрямой ординации, анализ соответствия с удаленным трендом (Detrended correspondence analysis – DCA) использован для расчета длины общего экологического градиента. Это необходимо для того, чтобы оценить зависимость (линейная или одновершинная) между экологическими факторами среды в исследованном регионе и распределением зоопланктонных сообществ [27]. DCA предполагает, что таксоны имеют одновершинную реакцию на гипотетический экологический градиент [28, 29]. DCA (данные преобразованы извлечением квадратного корня) выявил, что градиентная длина оси 1 составляет 4,88 ед. стандартного отклонения, что говорит о необходимости применения нелинейного метода ординации – канонического анализа соответствия (Canonical correspondence analysis – CCA). CCA используется в тех случаях, когда анализируется достаточно длинный экологический градиент (градиентная длина оси $1 > 2,5$), в рамках которого таксоны реагируют на изменение среды нелинейно [29]. Для достижения нормальности распределения выборки показатели трансформированы логарифмированием. Ординационный анализ выполнен в программе CANOCO 4.5 [30].

Для проверки мультиколлинеарности комплекса экологических переменных проведен анализ с использованием коэффициентов возрастания дисперсии (VIF). Экологические параметры со значениями VIF >20 удаляли по одному, начиная с того, который имел самое высокое значение VIF, и до тех пор, пока значения VIF всех оставшихся факторов не были ниже двадцати. Минимальное количество экологических параметров, достоверно объясняющих вариации данных зоопланктона, оценено методом отбора вперед (forward selection method).

Для анализа структуры зоопланктона озер использовали индекс видового разнообразия Шеннона–Уивера [31], который рассчитывали по численности (H_N) и биомассе (H_B) организмов зоопланктона, индекс выровненности экологических групп Пиелу [32]. Оценку са-

пробности проводили с использованием метода индикаторных организмов Пантле и Букка в модификации Сладечека [33, 34]. Для определения трофического статуса водоемов использовали классификации трофности С. П. Китаева [35] и Х. М. Курбангалиевой [36].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Большинство исследованных озер в бассейне р. Анабар термокарстового происхождения, небольшое число – пойменного происхождения. По химическому составу вода озер гидрокарбонатного типа кальциевой группы [11]. Все изученные озера характеризовались низкой степенью минерализации, так как питание их происходит за счет поступления слабоминерализованных талых и дождевых вод. Средние значения удельной электропроводности вод озер составляют $(51,1 \pm 8,3)$ мС/см (табл. 1). По жесткости вода озер характеризуется как “очень мягкая”. Активная реакция среды водоемов нейтральная или слабокислая, но в нескольких озерах показатели pH ниже предела ПДК (6,5–8,5). В частности, закисленные торфяные озера отмечены в районе пос. Саскылах, где зафиксированы значения pH 4,5 и 5,2.

Прибрежная и водная растительность развита слабо. Заросли макрофитов однотипны и представлены вахтой трехлистной (*Menyanthes trifoliata* L.), калужницей болотной (*Caltha palustris* L.), сабельником болотным (*Comarum palustre* L.), пузырчаткой (*Utricularia* spp.), урутью (*Myriophyllum* spp.) и рдестами (*Potamogeton* spp.).

В составе летнего зоопланктона озер водосборного бассейна р. Анабар в 2007 г. обнаружено 35 видов беспозвоночных: 15 видов коловраток (Rotifera), 11 – ветвистоусых (Cladocera), 9 – веслоногих ракообразных (Copepoda). Известно, что в реофильных зоопланктонных сообществах низовьев р. Анабар доминирующее положение занимают коловратки, субдоминантами являются ветвистоусые и веслоногие ракообразные как по частоте встречаемости, так и по количественным показателям [11]. В озерах картина несколько иная, так как отсутствует отрицательное влияние течения на развитие ракообразных и происходит закономерная смена

Статистические показатели основных лимнологических характеристик исследованных озер Якутии

Показатель	Min	Среднее	Max	Медиана	SD	Skew
$T_{\text{воздух июль}}$, °C	10,20	11,18	12,10	11,00	0,51	0,09
$T_{\text{воды}}$, °C	12,90	15,79	18,40	15,50	1,57	0,07
Глубина $_{\text{max}}$, м	0,90	4,38	10,00	4,70	2,53	0,23
Прозрачность, м	0,50	1,59	4,50	1,50	0,85	1,44
Электропроводность, мкS · см ⁻¹	16,00	51,14	277,00	33,00	49,21	3,25
pH	4,85	6,99	7,55	7,18	0,58	2,57
O_2 , мг · л ⁻¹	5,00	8,63	12,00	9,00	1,47	0,00
Cl^- , мг · л ⁻¹	0,27	5,25	62,98	1,12	11,73	3,95
SO_4^{2-} , мг · л ⁻¹	0,09	0,66	9,94	0,22	1,74	4,91
NO_3^- мкг · л ⁻¹	0,14	0,15	0,33	0,14	0,03	5,57
HCO_3^- , мкг · л ⁻¹	4,12	15,84	36,14	13,73	9,23	0,77
$P_{\text{общий}}^-$, мг · л ⁻¹	0,07	0,09	0,10	0,09	0,00	2,90
Al^{3+} , мкг · л ⁻¹	19,00	32,90	200,00	19,00	38,23	3,44
Ca^{2+} , мг · л ⁻¹	0,94	3,78	9,49	3,42	2,21	0,96
$Fe_{\text{общее}}$, мкг · л ⁻¹	24,70	243,46	587,00	198,50	146,77	0,68
Mg^{2+} , мг · л ⁻¹	0,48	1,73	4,96	1,66	1,01	1,03
Na^+ , мг · л ⁻¹	0,19	2,99	36,40	0,83	6,64	4,15
Mn^{2+} , мг · л ⁻¹	19,00	21,49	106,00	19,00	14,71	5,92
Si^{4+} , мг · л ⁻¹	0,09	0,28	1,29	0,15	0,29	2,04

П р и м е ч а н и е. SD – стандартное отклонение, Skew – асимметрия ($n = 35$).

доминантов на лимнофильные виды Crustacea. По таксономическому составу в озерах развит копеподно-ротиферный комплекс: доминантные по численности виды, как правило, принадлежали к типу Rotifera, биомассу чаще обуславливали Copepoda.

В зоопланктоне озер 13–25 видов. Несколько видов – массовые для большинства водоемов: *Kellicottia longispina* (Kellicott, 1879), *Keratella cochlearis* (Gosse, 1851), *Chydorus sphaericus* (O.F. Müller, 1785), *Heterocope borealis* (Fischer, 1851), *Cyclops scutifer* G. O. Sars, 1863. В зоопланктоне летнего периода водоемов с пониженными значениями pH присутствуют ацидофильные виды, в частности ветвистоусый рачок *Holopedium gibberum* Zaddach, 1855. Наряду с типичными видами в составе зоопланктона отмечен *Syzicus tetracerus* (Krynicky, 1839), который принадлежит к редким реликтовым эфемероидным Conchostraca и отличается короткими сроками активной фазы одной генерации и высокими темпами роста и развития.

Показатели численности и биомассы зоопланктона колебались в значительных пре-

делах: от 3,6 до 85,3 тыс. экз./м³ и от 0,004 до 4,3 г/м³ соответственно ($M \pm m$ по численности – $(30,8 \pm 9,1)$ тыс. экз./м³, $M \pm m$ по биомассе – $(1,52 \pm 0,04)$ г/м³). В абсолютном большинстве озер биомасса обуславливалась крупными хищными копеподами родов *Heterocope* и *Cyclops*. Доминирование Copepoda в сообществах с низкой общей численностью и биомассой зоопланктона – характерные признаки северных олиготрофных озер [37–40]. Однако по классификации Х. М. Курбангалиевой [36] в наших исследованиях численность и биомасса зоопланктона представлены величинами, присущими как мезо-, так и олиготрофному уровням трофии (51,4 и 48,6 % озер соответственно). По шкале трофности С. П. Китаева [35] получены схожие результаты, лишь в одном из озер биомасса зоопланктона составила 4,3 г/м³, что позволило отнести озеро 07-SA-06 к категории эвтрофных водоемов. Сопоставление величин средних биомасс зоопланктона тундровых озер, приводимых в литературе для европейского Севера России, а именно для Кольского п-ова (0,91 г/м³, $n = 24$ озера) и Боль-

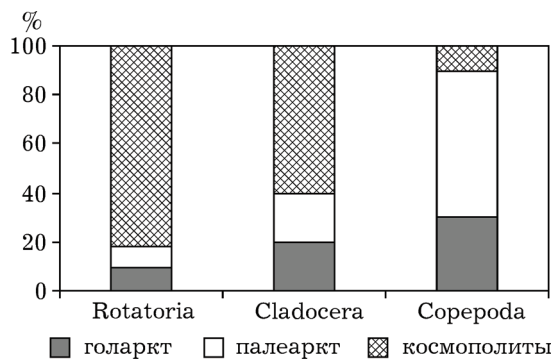


Рис. 2. Зоогеографическая характеристика зоопланктонных сообществ озер северо-запада Якутии (бассейн р. Анабар)

шеземельской тундры ($1,60 \text{ г/м}^3$, $n = 44$) ([35], с. 202, табл. 15.12), и наших данных по Восточной Сибири ($1,52 \text{ г/м}^3$, $n = 35$) выявило зональную схожесть количественных показателей зоопланктона.

По зоогеографическому районированию основную массу видов анабарской озерной фауны составляют организмы, имеющие космополитное, пале- и голарктическое распространение (рис. 2). Около половины отмеченных видов характеризуется всесветным распространением (*Brachionus calyciflorus* Pallas, 1766, *Keratella cochlearis*, *Chydorus sphaericus*, *Daphnia* cf. *longispina* O. F. Müller и др.), но среди обуславливающих количественные показатели чаще присутствовали холодноводные виды с ограниченным северным ареалом. Так, доминирующий по численности среди веслоногих рачков *Cyclops scutifer* (частота встречаемости 65,0 %) характеризуется как пелагический озерный вид с голарктическим распространением, обитающий в основном в зоне тундры и тайги в олиго- и слабоэвтрофных водоемах [41]. Наиболее часто встречающийся среди коловраток вид *Kellicottia longispina* (ЧВ 45,0 %) – холодноводный голарктический [15].

Трофическая структура сообществ планктонных беспозвоночных является интегральным показателем [42, 43], по которому можно судить о состоянии водоема и изменениях, происходящих на его акватории, в частности об изменении степени антропогенной нагрузки [44, 45]. Антропогенная эвтрофикация приводит к преобладанию в сообществах детритных пищевых цепей и увеличению скорости деструкции органического вещества

[46, 47]. Считается, что преобладание веслоногих ракообразных характерно для вод с наименьшей степенью органической нагрузки, а величина отношения численности Cladocera к Cyclozoidea, отражающая примерное соотношение мирных и хищных форм зоопланктона, резко возрастает при эвтрофировании [42, 48]. В среднем доля фильтраторов в численности зоопланктона озер бассейна р. Анабар составила 45,9 %, доля хищников – 29,1, организмов со смешанным питанием – 15,5, седиментаторов – 9,5 %. В пищевых цепях сообществ этих озер сложилась сложная трофическая структура, где в большинстве случаев превалировали крупные фильтраторы и хищники, что характерно для олиготрофных озер [49]. Данный факт косвенно свидетельствует об отсутствии загрязняющего антропогенного воздействия, в частности об отсутствии антропогенной эвтрофикации.

Согласно индексам видового разнообразия Шеннона–Уивера, рассчитанным по биомассе (H_B), озера по качеству воды можно отнести к категории умеренно-загрязненных [50]. При использовании индексов видового разнообразия, рассчитанных по численности (H_N), получены значения, которые указывают на принадлежность исследованных озер к мезо- и олиготрофным водоемам [42] (табл. 2). Индекс выровненности (I), характеризующий стабильность сообществ, в среднем равен 0,88, что говорит об отсутствии выраженных доминантов и довольно устойчивой структуре сообществ [32].

Оценка сапробности позволила охарактеризовать большинство озер как олигосапробные, причем расчетные величины индекса сапробности зачастую находились на границе перехода от олиго- к β -мезосапробной зоне, и лишь 20,0 % озер могут быть охарактеризованы как истинно β -мезосапробные с соответствующим комплексом видов-индикаторов (см. табл. 2).

Известно, что состав зоопланктонных сообществ определяется во многом био- и абиотическими условиями окружающей среды. В настоящее время проведено много исследований с использованием современного математического аппарата, направленных на выявление наиболее значимых для формирования сообществ факторов среды на осно-

Т а б л и ц а 2

Характеристики зоопланктонных сообществ озер северо-запада Якутии

Показатель	Среднее	Медиана	Min	Max	SD	Skew
N таксонов в озере	19,03	19,65	13	25	2,1	1,1
H_N	1,73	1,70	0,20	3,25	0,56	0,56
H_B	1,07	1,03	0,33	2,32	0,48	0,22
I (выровненность)	0,88	0,89	0,80	0,96	0,04	0,51
S (сапробность)	1,53	1,44	1,20	2,80	0,35	1,90

ве анализа как современного зоопланктона, так и фоссилизированных остатков кладоцер с применением палеолимнологических методов [5, 51–54].

Для определения факторов окружающей среды, наиболее значимо воздействующих на

состав зоопланктонных сообществ, в статистический анализ с использованием метода непрямой ординации включили 26 таксонов: 7 видов коловраток, 8 – ветвистоусых, 9 – веслоногих ракообразных и их личиночные стадии (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Список видов зоопланктона, включенных в статистический анализ с использованием метода непрямой ординации (ССА)

Вид, группа	Обозначение таксонов на диаграммах ССА (см. рис. 3)
ROTIFERA	
1. <i>Asplanchna priodonta</i> Gosse, 1850	<i>A. priodonta</i>
2. <i>Brachionus calyciflorus</i> Pallas	<i>B. calyciflorus</i>
3. <i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott, 1879)	<i>K. longispina</i>
4. <i>Keratella cochlearis</i> (Gosse)	<i>K. cochlearis</i>
5. <i>Keratella quadrata</i> (O. F. Müller, 1786)	<i>K. quadrata</i>
6. <i>Euchlanis dilatata</i> Ehrenberg, 1832	<i>E. dilatata</i>
7. <i>Filinia longiseta</i> (Ehrenberg, 1834)	<i>F. longiseta</i>
CLADOCERA	
8. <i>Holopedium gibberum</i> Zadd., 1848	<i>H. gibberum</i>
9. <i>Daphnia galeata</i> Sars, 1864	<i>D. galeata</i>
10. <i>D. cf. longispina</i> O. F. M., 1785	<i>D. longispina</i>
11. <i>D. pulex</i> Leydig, 1860	<i>D. pulex</i>
12. <i>Simocephalus vetulus</i> (O. F. Müller, 1776)	<i>S. vetulus</i>
13. <i>Eurycercus lamellatus</i> (O. F. M., 1776)	<i>E. lamellatus</i>
14. <i>Chydorus sphaericus</i> (O.F. Müller, 1785)	<i>Ch. sphaericus</i>
15. <i>Bosmina</i> (Eubosmina) cf. <i>longispina</i> Leydig, 1860	<i>B. longispina</i>
COPEPODA	
16. COPEPODA науплии	<i>Nauplii</i>
17. COPEPODA копеподиты	<i>Copepodita</i>
18. <i>Heterocope borealis</i> (Fischer, 1851)	<i>H. borealis</i>
19. <i>Heterocope appendiculata</i> Sars, 1863	<i>H. appendiculata</i>
21. <i>Eudiaptomus gracilis</i> (Sars, 1863)	<i>E. gracilis</i>
22. <i>Eudiaptomus graciloides</i> (Lilljeborg 1888)	<i>E. graciloides</i>
23. <i>Eucyclops serrulatus</i> (Fischer, 1851)	<i>E. serrulatus</i>
24. <i>Acanthocyclops vernalis</i> (Fischer, 1853)	<i>A. vernalis</i>
25. <i>Cyclops kolensis</i> Lilljeborg, 1901	<i>C. kolensis</i>
26. <i>Cyclops cf. scutifer</i> Sars, 1863	<i>C. scutifer</i>
27. <i>Mesocyclops leuckarti</i> (Claus, 1857)	<i>M. leuckarti</i>

ССА с участием всех экологических параметров (данные численности таксонов преобразованы извлечением квадратного корня, экологические параметры выявлены методом отбора вперед, Монте-Карло тест с 999 неограниченными перестановками) показал, что они объясняют 66,8 % вариаций таксономического состава зоопланктонных сообществ ($\lambda_1 = 0,174$ и $\lambda_2 = 0,157$). Широта, долгота, высота над уровнем моря, Na^+ , Cl^- имели высокий VIF (больше 20), т. е. в значительной степени коррелировали между собой. Эти переменные удалялись из анализа по одному до тех пор, пока все VIF не оказались ниже 20.

Методом ССА показано, что рН, среднеиюльская температура воздуха в регионе исследований, глубина и содержание ионов Si^{4+} составляют минимальный набор экологических параметров, наиболее достоверно объясняющих изменчивость численности зоопланктона в исследованных озерах (рис. 3). Значения осей 1 и 2 ($\lambda_1 = 0,485$ и $\lambda_2 = 0,308$) четырех наиболее значимых переменных составляют 40,4 и 66,4 % от собственных значений осей ССА 1 и 2 важнейших переменных, что говорит о том, что удаление коррелирующих переменных не оказало значительного влияния на эффективность анализа. Все значимые показатели коррелировали отрицательно с осью 1, $T_{\text{июля}}$ негативно и значимо коррелировала с осью 2 (табл. 4). Основные структурообразующие абиотические факторы, оказывающие наибольшее влияние на формирование зоопланктонных сообществ, прямо или косвенно находятся под влиянием изменения климата [6, 8].

По результатам наших исследований один из наиболее значимых факторов, обуславливающих состав зоопланктонных сообществ озер, – активная реакция среды, или рН ($p \leq 0,001$) (см. рис. 3). Ряд предыдущих исследований также документирует изменения в составе сообществ зоопланктонных организмов вслед за изменением кислотности [55, 56]. Сдвиг кислотно-щелочной реакции воды в сторону повышения кислотности в водоеме сопровождается изменениями структурно-функциональных взаимодействий в планктонном сообществе, выпадением из состава зоопланктона acidophilic видов, сни-

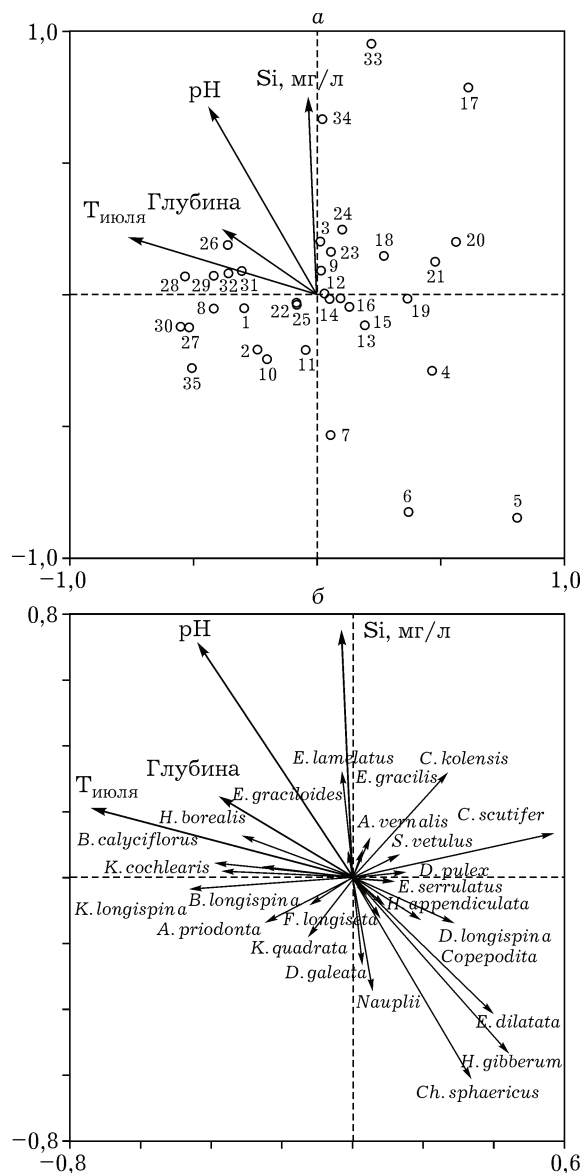


Рис. 3. ССА диаграмма, иллюстрирующая взаимосвязь между наиболее значимыми экологическими факторами и: а – зоопланктонными сообществами исследованных озер, б – отдельными таксонами зоопланктона исследованных озер (названия таксонов приведены в табл. 3)

жением видового богатства, изменениями общих показателей биомассы и численности кладоцер [57, 58]. Интересно, что многие виды Chydoridae способны проявлять бимодальную реакцию на изменения рН. К примеру, *Chydorus cf. sphaericus* – вид, часто доминирующий в высокотрофных озерах со значением рН > 9 в летний период, также в большом количестве отмечается и в болотах

Т а б л и ц а 4

Коэффициенты корреляции между экологическими показателями и ССА осями ординации 1 и 2

Экологический показатель	ССА	
	Ось 1	Ось 2
pH	-0,8144	0,3172
Глубина	-0,5408	-0,1532
$T_{\text{июля}}$	-0,5375	-0,4023
Si	-0,2070	0,1935

со значением $\text{pH} < 5$ [51, 53]. Впрочем, это могут быть разные виды, так как для современной видовой дифференциации [59] необходимы эфиппидальные самки и самцы, которые не часто встречаются в пробах.

Вторым по значимости фактором является среднеиюльская температура воздуха в регионе исследований (объясняет 10,4 % фаунистических вариаций, $p \leq 0,05$). Температура является одним из важнейших факторов, воздействующих прямо или косвенно на зоопланктонные организмы, в особенности в арктических и субарктических водоемах, на границе зон температурной толерантности многих видов. На основе изучения современных сообществ отмечена тесная корреляция между видовым богатством зоопланктона и температурой окружающей среды [37, 51, 52, 60, 61]. К. Паталас выявил увеличение числа видов зоопланктона в канадских озерах с 8 до 35 при изменении среднеиюльской температуры воздуха на 12°C [60]. М. Раутио отмечала уменьшение количества видов ракообразного зоопланктона в озерах субарктической Финляндии с увеличением географической широты [5, 53]. О. П. Дубовская с соавторами обнаружили существенное увеличение числа видов кладоцер в 39 озерах Средней Сибири при продвижении с севера на юг – соответственно изменению климатических условий [37]. Температура может оказывать значительное воздействие также на параметры жизненного цикла организмов зоопланктона [62].

Использование линейного (анализ избыточности, RDA) и нелинейного методов ординации (канонический анализ соответствия, ССА) на основе изучения фоссилизованных остатков кладоцер поверхностных дон-

ных отложений озер позволило назвать температуру в числе факторов, определяющих видовой состав, распределение и структуру кладоцерных сообществ зоопланктона для других северных регионов, включая финскую Лапландию [63, 64], Норвегию [65], Северную Америку [6, 66, 67]. Несмотря на весомое влияние среднеиюльской температуры воздуха в регионе на организмы, нам не удалось установить тесной взаимосвязи между температурой воды и распределением отдельных таксонов зоопланктона, что, возможно, объясняется недостаточной репрезентативностью разовых замеров, которые не отражают фактические температурные условия в регионе. Аналогичные результаты с использованием фактических разовых замеров температуры воды получены и другими авторами [68, 69].

Несколько предыдущих исследований [70–73] так же, как и наши данные, подтверждают, что глубина водоема – один из наиболее значимых абиотических факторов, влияющих на состав зоопланктонных сообществ. Мелкие озера, как правило, гомогенны по представленным биотопам и имеют более выраженную литоральную часть по отношению к пелагическим и профундальным участкам водоемов [70]. В мелководных озерах выявлено закономерное увеличение относительной численности литоральных видов с увеличением площади макрофитов, в то время как относительная численность пелагических возрастает с глубиной водоемов [69]. Но возможно, что не глубина лимитирует развитие зоопланктона, а тесно связанные с ней факторы окружающей среды (например, кормовые ресурсы, наличие хищников и др.) [74–76].

Некоторая взаимосвязь между концентрацией ионов Si^{4+} и составом зоопланктонных сообществ может быть объяснена опосредованно, через трофические взаимоотношения с диатомовыми водорослями. Представители отдела Bacillariophyta часто являются доминирующей группой в составе фитопланктона арктических и субарктических водоемов, что отмечено для ряда водоемов Западной Сибири [77] и для региона нашего исследования – бассейна р. Анабар [78]. Известно, что существует прямая связь между сезонным

ходом развития диатомовых водорослей и изменением содержания в воде водоема растворенных форм кремния и фосфора [79]. Кремний может быть лимитирующим фактором для диатомовых водорослей, которым он необходим для построения створок кремнеземного панциря клеток [80]. В наших исследованиях, несмотря на низкое содержание кремния в воде (0,09–1,29 мг/л, см. табл. 1), в озерах складывались условия, благоприятные для развития и в некоторых случаях доминирования диатомовых водорослей [81, 82]. В свою очередь, количество диатомовых водорослей влияет на кормовые условия некоторых видов зоопланктона, использующих их в качестве основного кормового компонента. Например, питание *Eurycerus* spp., по данным Д. Г. Фрая [83], состоит в первую очередь из диатомовых водорослей (*Gomphonema* spp, *Tabellaria* spp). Аналогичная взаимосвязь между концентрацией ионов кремния и составом кладоцерных сообществ отмечена для небольших высокогорных озер Швейцарии, сходных по абиотическим условиям с арктическими и субарктическими озерами [84]. Таким образом, в условиях нехватки биогенных элементов в северных водоемах может отмечаться опосредованное влияние концентраций кремния на сообщества гидробионтов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало, что арктические зоопланктонные сообщества представляют собой небогатые по качественным и количественным характеристикам, но весьма устойчивые и выровненные сообщества. Основными факторами, влияющими на распространение зоопланктеров, являются климат-зависимые переменные – рН, среднеиюльская температура воздуха и глубина водоема.

Благодаря отсутствию структуронарушающего антропогенного воздействия исследованные озера могут быть рекомендованы для использования в качестве контрольных водных экосистем при математическом моделировании в исследованиях по реконструкции палеоклимата.

Авторы сердечно благодарят всех участников летней экспедиции в Северо-Западную Якутию в 2007 г. Авторский коллектив выражает искреннюю благодарность также рецензентам статьи за ценные замечания и рекомендации. Исследование выполнено при финансовой поддержке ФЦП Министерства образования и науки Российской Федерации и немецкого исследовательского общества (DFG).

ЛИТЕРАТУРА

1. Доманицкий А. П., Дубравина Р. Г., Исаева А. И. Реки и озера Советского Союза (справочные данные). М.: Гидрометеиздат, 1971. 361 с.
2. Agafonov L., Strunk H., Nuber T. Thermokarst dynamics in Western Siberia: insights from dendrochronological research // *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 2004. N 209. P. 183–196.
3. Kumke T., Ksenofontova M., Pestryakova L., Nazarova L., Hubberten H.-W. Limnological characteristics of lakes in the lowlands of Central Yakutia // *J. Limnol.* 2007. Vol. 66, N 1. P. 40–53.
4. Hebert P. D. N., Hann B. J. Patterns in the composition of arctic tundra pond microcrustacean communities // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1986. Vol. 43. P. 1416–1425.
5. Rautio M. Community structure of crustacean zooplankton in subarctic ponds – effects of altitude and physical heterogeneity // *Ecography.* 1998. Vol. 21. P. 327–335.
6. Sweetman J. N., Rühland K. M., Smol J. P. Environmental and spatial factors influencing the distribution of cladocerans in lakes across the central Canadian Arctic treeline region // *J. Limnol.* 2010. Vol. 69, N 1. P. 1–12.
7. Hansson L.-A., Lindell M., Tranvik L. J. Biomass distribution among trophic levels in lakes lacking vertebrate predators // *Oikos.* 1993. Vol. 66. P. 101–106.
8. Intergovernmental panel on climate change (IPCC) 2007. Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment / eds. S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, H. L. Miller. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 996 p.
9. Samchyshyna L., Hansson L.-A., Christoffersen K. Patterns in the distribution of Arctic freshwater zooplankton related to glaciation history // *Polar Biol.* 2008. Vol. 31. P. 1427–1435.
10. Чистяков Г. Е. Водные ресурсы рек Якутии. М.: Наука, 1964. 255 с.
11. Биология реки Анабар / А. Ф. Кириллов и др. Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2007. 221 с.
12. Куницкий В. В. Криолитология низовья Лены. Якутск: ИМЗ СО АН СССР, 1989. 162 с.
13. Гаврилова М. К. Климаты холодных регионов Земли. Якутск: ИМЗ СО РАН, 1998. 206 с.
14. Караваев М. Н., Скрябин С. З. Растительный мир Якутии. Якутск, 1971. 137 с.
15. Кутикова Л. А. Коловратки фауны СССР. М.; Л.: Наука, 1970. 745 с.
16. Мануйлова Е. Ф. Ветвистоусые рачки (Cladocera) фауны СССР. М.; Л.: Наука, 1964. 328 с.

17. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Низшие беспозвоночные / ред. С. Я. Цалолыхин. СПб.: ЗИН РАН, 1994. Т. 1. 396 с.
18. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Ракообразные / ред. С. Я. Цалолыхин. СПб.: ЗИН РАН, 1995. Т. 2. 632 с.
19. Рылов В. М. Cyclozoidea пресных вод. Фауна СССР (Ракообразные). М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1948. Т. 3, вып. 3. 320 с.
20. Flössner D. Die Haplozoa und Cladocera (ohne Bosminidae) Mitteleuropas. Leiden: Backhuys Publishers, 2000. 428 p.
21. Смирнов Н. Н. Chydoridae фауны мира. Фауна СССР. Ракообразные. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1971. Т. 1, вып. 2. 531 с.
22. Alonso M. Crustacea Branchiopoda Fauna Iberica. Madrid: Museo Nacional de Ciencias Naturales CSIC, 1996. Vol. 7. 486 p.
23. Балущкина Е. В., Винберг Г. Г. Зависимость между массой и длиной тела у планктонных животных // Общие основы изучения водных экосистем. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1979. С. 169–172.
24. Балущкина Е. В., Винберг Г. Г. Зависимость между длиной и массой тела планктонных ракообразных // Экспериментальные и полевые исследования биологических основ продуктивности озер. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1979. С. 58–72.
25. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. Л.: Изд-во ГосНИОРХ, 1982. 33 с.
26. New M., Hulme M., Jones P. Representing twentieth century space-time climate variability. Part 2: development of 1901–96 monthly grids of terrestrial surface climate // J. Clim. 2000. Vol. 13. P. 2217–2238.
27. Birks H. J. B. Quantitative palaeoenvironmental reconstructions // Statistical Modelling of Quaternary Science Data. Cambridge: Quaternary Research Association, 1995. P. 161–254.
28. ter Braak C. J. F., Prentice I. C. A theory of gradient analysis // Advan. in Ecol. Research. 1988. N 18. P. 271–317.
29. ter Braak C. J. F., Verdonschot P. F. M. Canonical correspondence-analysis and related multivariate methods in aquatic ecology // Aqu. Sci. 1995. N 57. P. 255–289.
30. ter Braak C. J. F., Šmilauer P. CANOCO 4.5, Reference manual and CanoDraw for Windows, User's guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Ithaca, N.Y.: Microcomputer Power, 2002. 500 p.
31. Shannon C. E., Weaver W. The mathematical theory of communication. Urbana: Univ. Illinois Press, 1963. 117 p.
32. Pielou E. C. The measurement of diversity in different types of biological collections // Theoret. Biol. 1966. N 13. P. 131–144.
33. Макрушин А. В. Биологический анализ качества вод. Л.: Зоол. ин-т АН СССР, 1974. 59 с.
34. Sládeček V. System of water quality from the biological point of view // Arch. Hydrobiol. Ergebnisse der Limnologie. 1973. Bd. 7. P. 1–218.
35. Китаев С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 395 с.
36. Курбангалиева Х. М. Гидробиологическая характеристика озер // Озера Среднего Поволжья. Л., 1976. С. 123–129.
37. Dubovskaya O. P., Kotov A. A., Korovchinsky N. M., Smirnov N. N., Sinev A. Yu. 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.
38. O'Brien W. J., Barfield M., Bettez N. D., Gettel G. M., Hershey A. E. et al. Physical, chemical, and biotic effects on arctic zooplankton communities and diversity // Limnol. Oceanogr. 2004. Vol. 49 (N 4, part 2). P. 1250–1261.
39. Глуценко Л. А., Дубовская О. П., Иванова Е. А., Шулепина С. П., Зуев И. В. и др. Гидробиологический очерк некоторых озер горного хребта Ергаки (Западный Саян) // J. of Siberian Federal University. Biology. 2009. Vol. 3. P. 82–98.
40. Stemberger R. S., Lazorchak J. M. Zooplankton assemblage responses to disturbance gradients // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1994. Vol. 51. P. 2435–2447.
41. Боруцкий Е. В. Определитель свободноживущих пресноводных веслоногих раков СССР и сопредельных стран по фрагментам в кишечниках рыб. М.: Наука, 1960. 219 с.
42. Андроникова И. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1996. 189 с.
43. Чуйков Ю. С. Экологический анализ состава и структуры сообществ водных животных как метод биологической оценки качества вод // Экология. 1978. № 5. С. 53–57.
44. Haberman J., Laugaste R. On characteristics reflecting the trophic state of large and shallow Estonian lakes (L. Peipsi, L. Võrtsjärv) // Hydrobiologia. 2003. Vol. 506/509. P. 737–744.
45. Кононова О. Н. Трофическая структура зоопланктона малых пойменных озер бассейна р. Вычегда // Изв. Коми НЦ УрО РАН. 2010. № 3 (3). С. 32–37.
46. Лазарева В. И., Смирнова С. М. Значение коловраток в сообществе зоопланктона гипертрофного оз. Неро (Ярославская обл.) / Коловратки (таксономия, биология и экология). Ярославль: Изд-во Ярославского гос. техн. ун-та, 2005. С. 160–175.
47. Кононова О. Н. Структура и динамика зоопланктона водоемов бассейна среднего течения реки Вычегда: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар, 2009. 18 с.
48. Крылов А. В. Зоопланктон равнинных малых рек. М.: Наука, 2005. 263 с.
49. Деревенская О. Ю. Трофическая структура зоопланктона озер Среднего Поволжья // Биология внутренних вод. 2002. № 2. С. 46–50.
50. Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. М.: Мир, 1992. 181 с.
51. Korhola A., Rautio M. Cladocera and other branchiopod crustaceans // Tracking environmental change using lake sediments / eds. J. P. Smol, H. J. B. Birks, W. M. Last. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. Vol. 4. Zoological indicators. P. 125–165.

52. Фролова Л. А. Ветвистоусые ракообразные (Cladocera Latreille, 1829, Branchiopoda, Crustacea) в палеоэкологических исследованиях // Методические подходы к использованию биологических индикаторов в палеоэкологии / ред. Л. Б. Назарова. Казань: Казан. ун-т, 2011. С. 52–87.
53. Rautio M. Zooplankton assemblages related to environmental characteristics in Treeline ponds in Finnish Lapland // *Arctic, Antarctic, Alpine Res.* 2001. Vol. 33, N 3. P. 289–298.
54. Anderson N. J., Battarbee R. W. Aquatic community persistence and variability: a palaeolimnological perspective // *Aquatic Ecology: Scale, Pattern and Process* / eds. P. S. Giller, A. G. Hildrew, D. G. Raffaelli. London: Blackwell Scientific, 1994. P. 233–259.
55. Nilssen J. P., Sandoy S. Recent lake acidification and cladoceran dynamics: surface sediment and core analyses from lakes in Norway, Scotland and Sweden // *Palaeolimnology and lake acidification* / eds. R. W. Battarbee, J. Mason, I. Renberg, J. P. Talling. London: The Royal Society, 1990. P. 73–83.
56. Korhola A. The Early Holocene hydrosere in small acid hill-top basin studied using crustacean sedimentary remains // *J. Paleolimnol.* 1992. Vol. 7. P. 1–22.
57. Sandøy S., Nilssen J. P. A geographical survey of littoral crustacea in Norway and their use in paleolimnology // *Hydrobiologia.* 1986. Vol. 143. P. 277–286.
58. Carter J. C. H. Distribution and abundance of planktonic Crustacea in ponds near Georgian Bay (Ontario, Canada) in relation to hydrography and water chemistry // *Arch. Hydrobiol.* 1971. Vol. 68, N 2. P. 204–231.
59. Смирнов Н. Н., Коровчинский Н. М., Котов А. А., Синев А. Ю. Систематика Cladocera: современное состояние и перспективы развития // Ветвистоусые ракообразные: систематика и биология: мат-лы Всерос. школы-конф., ИББВ им. И. Д. Папанина. Нижний Новгород: Вектор ТИС, 2007. С. 5–73.
60. Patalas K. Diversity of the zooplankton communities in Canadian lakes as a function of climate // *Verh. Int. Ver. Limnol.* 1990. Vol. 24. P. 360–368.
61. Streletskaia E. A. Review of the fauna of Rotatoria, Cladocera, and Copepoda of the basin of the Anadyr' river // *Contemporary Problems of Ecology.* 2010. Vol. 3, N 4. P. 469–480.
62. Allan J. D. Life history patterns in zooplankton // *Am. Nat.* 1976. Vol. 110. C. 165–180.
63. Korhola A. Distribution patterns of Cladocera in subarctic Fennoscandian lakes and their potential in environmental reconstruction // *Ecography.* 1999. Vol. 22. P. 57–373.
64. Sarmaja-Korjonen K., Nyman M., Kultti S., Valiranta M. Palaeolimnological development of Lake Njargajavri, northern Finnish Lapland, in a changing Holocene climate and environment // *J. Paleolimnol.* 2006. Vol. 35. P. 65–81.
65. Hessen D. O., Faafeng B. A., Smith V. A., Bakkestuen V., Walseng B. Extrinsic and intrinsic controls of zooplankton diversity in lakes // *Ecology.* 2006. Vol. 87. P. 433–443.
66. Swadling K. M., Pienitz R., Nogrady T. Zooplankton community composition of lakes in the Yukon and Northwest Territories (Canada): relationship to physical and chemical limnology // *Hydrobiologia.* 2000. Vol. 431. P. 211–224.
67. Carter J. C. H., Dadswell M. J., Rolf J. C., Sprules W. G. Distribution and zoogeography of planktonic crustaceans and dipterans in glaciated eastern North America // *Can. J. Zool.* 1980. Vol. 58. P. 1355–1387.
68. Nazarova L., Pestryakova L. A., Ushnitskaya L. A., Hubberten H.-W. Chironomids (Diptera: Chironomidae) of Central Yakutian lakes and their indicative potential for palaeoclimatic investigations // *Contemporary problems of ecology.* 2006. Vol. 1(3). P. 335–345.
69. Sweetman J. N., Smol J. P. Patterns in the distribution of cladocerans (Crustacea: Branchiopoda) in lakes across a north-south transect in Alaska, USA // *Hydrobiologia.* 2006. Vol. 553. P. 277–291.
70. Frey D. G. Littoral and offshore communities of diatoms, cladocerans and dipterous larvae and their interpretation in palaeolimnology // *J. Paleolimnol.* 1988. Vol. 1. P. 179–191.
71. Bos D. G., Cumming B. F. Sedimentary cladoceran remains and their relationship to nutrients and other limnological variables in 53 lakes from British Columbia, Canada // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 2003. Vol. 60. P. 1177–1189.
72. DeSellas A. M., Paterson A. M., Sweetman J. N., Smol J. P. Cladocera assemblages from the surface sediments of south-central Ontario (Canada) lakes and their relationships to measured environmental variables // *Hydrobiologia.* 2008. Vol. 600. P. 105–119.
73. Kienast F., Wetterich S., Kuzmina S., Schirrmeister L., Andreev A. et al. Paleontological records prove boreal woodland under dry inland climate at today's Arctic coast in Beringia during the last interglacial // *Quaternary Science Reviews.* 2010. doi:10.1016/j.quascirev.2010.11.024.
74. Nevalainen L. Intra-lake heterogeneity of sedimentary cladoceran (Crustacea) assemblages forced by local hydrology // *Hydrobiologia.* 2011. doi:10.1007/s10750-011-0707-3.
75. Davidson T. A., Sayer C. D., Perrow M. R., Bramm M., Jeppesen E. The simultaneous inference of zooplanktivorous fish and macrophyte density from subfossil cladoceran assemblages: a multivariate regression tree approach // *Freshwater Biology.* 2010. Vol. 55. P. 546–564.
76. Davidson T. A., Sayer C. D., Langdon P. G., Burgess A., Jackson M. Inferring past zooplanktivorous fish and macrophyte density in a shallow lake: application of a new regression tree model // *Ibid.* P. 584–599.
77. Genkal S. I., Shchur L. A., Yarushina M. I. Diatoms of some water bodies in northeastern West Siberia // *Contemporary Problems of Ecology.* 2010. Vol. 3, N 4. P. 386–394.
78. Gabyshev V. A., Gabysheva O. I. Water quality of the Anabar River indicated by phytoplankton structure and hydrochemical characteristics // *Ibid.* P. 395–400.
79. Россолимо Л. Л. Озерное накопление кремния и его типологическое значение. М.: Наука, 1971. 104 с.
80. Судницына Д. Н. Экология водорослей Псковской области. Учебное пособие. Псков: ПГПУ, 2005. 128 с.
81. Пестрякова Л. А. Диатомовые комплексы озер Якутии. Якутск: Изд-во ЯГУ, 2008. 177 с.
82. Лукина С. А., Пестрякова Л. А. Диатомовые водоросли озер бассейна р. Анабар (в районе пос. Юрюнг-Хая) // *Наука и образование.* 2006. № 2. С. 13–17.

83. Frey D. G. Comparative morphology and biology of three species of *Eurycercus* (Chydoridae: Cladocera) with a description of *Eurycercus macrocanthus* sp. nov. // Int. Revue ges. Hydrob. 1973. Vol. 58. P. 221–267.
84. Lotter A. F., Birks H. J. B., Hofmann W., Marchetto A. Modern diatom, Cladocera, chironomid, and chrysophyte cyst assemblages as quantitative indicators for the reconstruction of past environmental conditions in the Alps. I. Climate // J. of Paleolimnology. 1997. Vol. 18. P. 395–420.

Analysis of the Effect of Climate-Depending Factors on the Formation of Zooplankton Communities of Arctic Lakes in the Anabar River Basin

L. A. FROLOVA¹, L. B. NAZAROVA², L. A. PESTRYAKOVA³, U. HERZSCHUH²

¹ *Kazan (Privolzhskiy) Federal University
420008, Kazan, Kremlevskaya str., 18*

² *Alfred Wegener Institute of Polar and Marine Research
14473, Germany, Potsdam, Telegrafenberg, A43*

³ *North-East Federal University
677891, Yakutsk, Belinsky str., 58
E-mail: Larissa.Florova@mail.ru*

Main functional and structural characteristics of zooplankton communities of 35 arctic lakes from catchment basin of the Anabar river (Yakutia) were analyzed. The ecological state of the lakes was evaluated. CCA has revealed main abiotic factors that have the greatest influence on the formation and structuring of zooplankton communities.

Key words: zooplankton, Arctic lakes, indirect ordination method, canonical concordance analysis.