

УДК 565.324

**ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИЕ  
РЕКОНСТРУКЦИИ КАРЕЛЬСКОГО ПЕРЕШЕЙКА НА ОСНОВЕ  
ИЗУЧЕНИЯ СУБФОСИЛЬНЫХ CLADOCERA ОЗЕРА  
МЕДВЕДЕВСКОЕ (СЕВЕРО-ЗАПАД РОССИИ)**

*Л.А. Фролова<sup>1</sup>, А.Г. Ибрагимова<sup>1</sup>, Д.А. Субетто<sup>2</sup>,  
Л.Б. Назарова<sup>3</sup>, Л.С. Сырых<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>*Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, 420008, Россия*

<sup>2</sup>*Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН,  
г. Петрозаводск, 185003, Россия*

<sup>3</sup>*Университет Потсдама, г. Потсдам, 14469, Германия*

<sup>4</sup>*Российский государственный педагогический университет имени А.И. Герцена,  
г. Санкт-Петербург, 191186, Россия*

**Аннотация**

Целью исследования является восстановление климатической картины голоцена для Карельского перешейка, а также реконструкция экологических условий прошлого. Представлены результаты палеобиологического анализа сообществ Cladocera оз. Медведовское (Карельский перешеек, расположенный между Финским заливом Балтийского моря и Ладожским озером, Северо-запад России). Выявлены виды-доминанты, определена зоогеографическая и биотопическая приуроченность представителей обнаруженных таксонов. По результатам кладоцерного анализа выделены пять стратиграфических зон, по таксономическому составу которых сделаны выводы об изменении трофического статуса водоема и климатических условий в целом. Проведен сравнительный анализ полученных результатов с ранее полученными данными хирономидного анализа.

**Ключевые слова:** палеоклиматические реконструкции, субфосильные Cladocera, озеро Медведовское, Карельский перешеек

**Введение**

Палеорекострукции климата и природных условий позднеледниковья и голоцена становятся все более популярными в связи с все более возрастающим вниманием к проблеме изменения климата [1, 2]. Имеющиеся данные многолетних наблюдений свидетельствуют о повышении средних годовых температур за последние 100 лет и уровня мирового океана, а также протайке многолетней мерзлоты, увеличении концентрации парниковых газов, что позволяет говорить об имеющих место процессах глобального потепления [3]. Для выявления трендов развития климата в будущем учеными ведутся поиски аналогов современной ситуации развития климата в прошлом, составляются климатические модели [4].

Информацию о климатах прошлого несут палеоклиматические летописи, или так называемые косвенные свидетельства (толщина и плотность древесных

и коралловых колец, изотопный состав кислорода в ледяных и океанических ядрах, тип ископаемых почв и содержание в них спор и пыльцы растений) [5].

Донные отложения озер являются природными архивами многолетних экологических и климатических изменений, происходивших на всех этапах озерного седиментогенеза. Комплексные исследования донных отложений позволяют восстановить информацию об изменениях климата, экологического состояния, геомагнитного поля и других событиях эволюции окружающей среды за последние тысячелетия [4–6].

Биологические объекты такие, как диатомовые водоросли, споры и пыльца растений, хирономиды, остракоды и ветвистоусые ракообразные (*Cladocera*), хорошо зарекомендовали себя в качестве палеоиндикаторов экологических условий прошлого. Их субфоссильные остатки широко используются в палеорекострукциях [7–9].

Метод реконструкции климатических и экологических условий прошлого на основе анализа рецентных остатков *Cladocera* является достаточно молодым и основывается на изучении хитиновых остатков ветвистоусых ракообразных (головные щиты, карапаксы, постабдомены и др.), которые сохраняются в донных отложениях в хорошем качестве и позволяют идентифицировать их до видовой принадлежности [10–13]. Ветвистоусые ракообразные представляют собой значимую группу организмов водных экосистем и населяют все типы внутренних водоемов, от родников и грунтовых вод до крупных озер. Известно, что отдельные виды *Cladocera* проявляют низкую толерантность к меняющимся условиям среды (таким, как температура, pH, уровень кислорода) и предпочитают определенный вид субстрата, благодаря чему можно синхронизировать изменения таксономического состава с изменениями климатических и экологических условий в регионе исследования [12, 14–18].

Изучение донных отложений озер Карельского перешейка, расположенного между Финским заливом Балтийского моря и Ладожским озером в зоне сочленения Балтийского щита и Русской платформы, с точки зрения реконструкции истории озер началось в 60-е годы XX в. Однако в то время палеолимнологические реконструкции были ограничены несовершенством используемых методов, в первую очередь методов датирования [19, 20]. Внедрение современных методик, в том числе использование палеоиндикаторов (спор, пыльцы, хирономид), позволило значительно продвинуться в реконструкции климатической картины Карельского перешейка [20–25].

Заметное влияние на формирование рельефа рассматриваемой территории и его основных современных форм оказали ледники, продвигавшиеся в четвертичное время через Карельский перешеек и Приладожье. Таяние ледника сопровождалось возникновением больших по площади ледниковых водоемов [26].

Современные палеогеографические данные свидетельствуют о том, что наиболее возвышенная центральная часть Карельского перешейка освободилась от ледника ранее 13500 кал. л. н. и представляла собой остров, возвышающийся над поверхностью ледника с небольшими внутренними приледниковыми водоемами [24, 27].

Кладоцерный анализ, ранее не проводившийся в районе исследования, позволит получить более полную информацию об изменениях окружающей среды и сравнить полученные результаты с имеющимися данными.

Актуальность настоящего исследования увеличивается в связи с нарастающим антропогенным воздействием на многочисленные озера Карельского перешейка, которые расположены вблизи мегаполиса Санкт-Петербурга. Береговые полосы озер активно застраиваются, рекреационная активность возрастает, многие водоемы используются для рыбозаготовки. Все это негативно сказывается на экологии водных объектов: увеличивается биомасса фитопланктона – отмечается развитие нитчатых водорослей и скопление их у берегов, следствием чего является интенсивное цветение водоемов в летний период; происходит ухудшение кислородного режима, что способствует исчезновению реликтовых организмов [28].

### 1. Материалы и методы исследования

Регион исследования характеризуется морским климатом со средней температурой января  $-9^{\circ}\text{C}$ , средней температурой июля  $+16^{\circ}\text{C}$  и средней годовой температурой  $+3^{\circ}\text{C}$  [25]. Заболоченность невысокая [29]. Растительность территории соответствует флористическому разнообразию среднетаежной подзоны Восточно-Европейской тайги – сосновый лес с примесью ели [27]. Ей свойственно спорадическое и прогрессивно убывающее к югу распространение типичных фенноскандских растений, отсутствующих к югу от Невы, и значительным распространением южных видов, не встречающихся в Восточной Фенноскандии [29].

Объектом исследования выбрано озеро Медведовское ( $60^{\circ}31'51''$  с.ш.,  $29^{\circ}53'57''$  в.д., 102.2 м н.у.м., площадь – 0.44 км<sup>2</sup>, 0.5 км в ширину, 1.18 км в длину, максимальная глубина около 4 м), расположенное на центральной возвышенности Карельского перешейка, которое освободилось от ледника во время лужской стадии и благодаря своему высотному положению и малой площади водосборного бассейна не заливалось водами крупных приледниковых водоемов после дегляциации. Оно характеризуется непрерывным осадконакоплением и преобладанием в осадках автохтонной и эоловой составляющих [20, 30, 31] (рис. 1). Озеро ледникового происхождения сформировалось на валунных суглинках и супесях ранее 12650 кал. л. н. Дно озера песчано-каменистое с наличием заиленных участков. Вода в озере светлая, прозрачная, летнего «цветения» воды практически не отмечается. Восточный и западный берега заболочены. Озеро Медведовское дренируется небольшими ручьями, входящими в водосборную систему Ладожского озера. [20, 25, 30, 31]. В ранних исследованиях этого разреза было выявлено наличие в нем тонкого прослоя вулканического пепла Ведде, датируемого 12,0 тыс. кал. л. н., а также были обнаружены следы метеоритного удара в позднедриасовых осадках [30, 31].

Весной 2014 года со льда оз. Медведовское были отобраны две колонки донных отложений длиной 1 и 2.5 м. Отбор колонки грунта производился с центральной части водоема. В ходе предыдущих исследований было установлено, что остатки Cladosega с различных литоральных субстратов пассивно транспортируются от берега и перемешиваются с остатками пелагических Cladosega, формируя в центральной части водоема отложения, хранящие в себе наиболее полную и достоверную информацию о населявших водоем организмах [4, 32, 33].

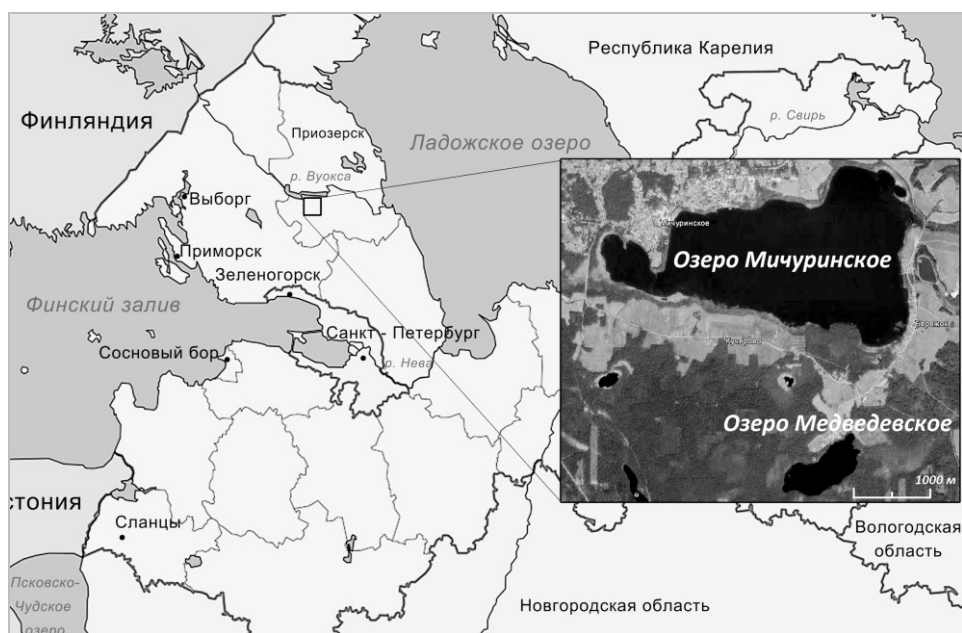


Рис. 1. Физико-географическое расположение оз. Медведовское

Донные отложения представлены позднеледниковыми серыми песками и глинами и голоценовыми темно-бурными органогенными илами. Колонки донных отложений озера, период седиментации которых охватывает позднеледниковье и весь голоцен, были проанализированы на потерю массы при прокаливании (ППП, процент) и датированы методом ускорительной масс-спектрометрии ( $^{14}\text{C}$  AMS-методом) в лаборатории ионно-лучевой физики Швейцарской высшей технической школы Цюриха (LIBF ETH, Zürich). Произведены литостратиграфический, радиоуглеродный анализы и ряд других с использованием биологических индикаторов (хириноидного, спорово-пыльцевого, кладоцерного). Результаты анализа ППП, литостратиграфического и радиоуглеродного анализов были использованы для стратиграфической корреляции кернов и составления композитной колонки донных отложений с оптимальным аналитическим разрешением.

Для кладоцерного анализа по всей колонке донных отложений были отобраны образцы с интервалом 1–6 см. Образцы готовились по методике, предложенной впервые Д. Фрайем [11] и Б.Д. Ханном [14], а позднее усовершенствованной А. Корхолой и М. Раутио [12]. Пробы просматривали под световым стереомикроскопом Axiostar Plus Carl Zeiss при увеличении  $\times 100$ –400. В каждой пробе было идентифицировано минимум 100 остатков. Для идентификации использовали как современные специализированные определители рецентных и субфоссильных Cladocera [34–36], так и определители современных Cladocera [37–40]. При подсчете остатков карапаксов за один экземпляр Cladocera принимались две обнаруженные в грунте створки раковины.

Анализ изменения разнообразия биотических групп выполнен с использованием индексов, определяющих степень видового богатства, разнообразия и доминирования сообществ ветвистоусых ракообразных: индекса Шеннона –

Уивера [41], являющегося косвенным показателем качества воды и трофического статуса водоема, индекса выравненности экологических групп Пиелу [42], индекса сапробности Р. Пантле и Г. Бука [43]. В целях выделения классов доминирования по численности была использована шкала Любарского [44]. Статистический и стратиграфический анализы выполнены в программе C2, версия 1.5 [45]. Статистически значимые стратиграфические зоны выделены с помощью кластерного анализа CONISS программы Tilia/TiliaGraph software [46].

В стратиграфический анализ были включены таксоны, относительная численность которых составила не менее 1% от общей численности Cladocera в пробе.

## 2. Результаты и их обсуждение

В ходе кладоцерного анализа в колонке донных отложений оз. Медведевское было обнаружено 7802 остатка Cladocera, которые были идентифицированы до родовой (*Eubosmina* sp., *Eurycercus* sp., *Pleuroxus* sp., *Simocephalus* sp., *Ceriodaphnia* sp.) и видовой принадлежности. В составе субфоссильных остатков ветвистоусых ракообразных было выявлено 38 таксонов. Преобладали виды, свойственные зонам палеарктики (44.7%) и голарктики (39.5%), космополитическая зоогеография характерна лишь для 15.8% сообщества.

Таксономическое разнообразие кладоцер исследуемой колонки достаточно богатое, многочисленны как представители пелагической части водоема, так и литоральные, фитофильные виды. Обнаружены представители 7 семейств Cladocera (Bosminidae, Holopedidae, Chydoridae, Daphnidae, Polyphemidae, Macrotrichidae, Sididae). Остатки представителей семейства Chydoridae (75.28%) и Bosminidae (22.67%) встречаются наиболее часто по всей колонке седиментов.

В колонке донных отложений высокой численностью отличаются пелагические представители рода *Eubosmina* sp. (22.5%), что, скорее всего, связано с хорошо развитой открытой частью водоема. Согласно шкале Любарского доминанты в озере отсутствуют. Субдоминантами кладоцерного сообщества являлись *Bosmina* (*Eubosmina*) *longispina* (15.79%) и *Alonella nana* (14.82%), населяющие олиготрофные северные водоемы, в случае *Alonella nana* – разнотипные водоемы от олиго-дистрофных до эвтрофных [47–49]. Доминирование *Alonella nana* свойственно некоторым озерам Финляндии [50–52]. В литературе имеются сведения о том, что вид является толерантным к ацидофильным условиям среды [53], однако есть и опровержения данного предположения [54].

Второстепенными видами в палеосообществах являлись *Acroperus harpae* (12.67%), *Chydorus* cf. *sphaericus* (11.99%), *Alona affinis* (8.67%), *Alonella excisa* (7.8%), *Camptocercus rectirostris* (6.28%), *Eurycercus lamellatus* (4.77%). Таксономическое многообразие и обилие обнаруженных остатков литоральных и фитофильных видов свидетельствуют о наличии мелководных участков в озере и участков, заросших макрофитами. Видовое разнообразие сообществ в нижних слоях керна характеризуется как бедное и растет с продвижением вверх по колонке. Органическая составляющая колонки донных отложений также увеличивается параллельно со скоростью осадконакопления [25].

Согласно результатам кладоцерного анализа выделено пять стратиграфических зон, описание которых приведено нами ниже.

В нижних слоях колонки донных отложений, соответствующих возрасту 12300–9900 кал. л. н. (рис. 2, зона I, 496–442 см), относительная бедность таксономического разнообразия сочетается с доминированием типичных северных видов. Первыми вселенцами оз. Медведевское были *Acroperus harpae*, *Eubosmina longispina*, *Alonella nana*, *Alonella excisa*, *Camptocercus rectirostris*, *Alona affinis*, *Eurycercus lamellatus*. Значительная роль в субфоссильном сообществе пелагического рода *Eubosmina* sp. характеризует озеро как чистый, олиготрофный, холодноводный водоем [48, 55]. Однако наличие многочисленных хитиновых остатков таксонов, тесно связанных с растительным субстратом (заросли макрофитов, водоросли, погруженная растительность) свидетельствует о преобладании в водоеме мелководных, сильно заросших участков. В составе хириноmidных сообществ доминирующими являются также таксоны-индикаторы холодных температур, видовое разнообразие хириноmid в данной зоне невелико [25].

Таким образом, в переходный от позднеледниковья к голоцену период, выделенный на стратиграфической диаграмме в зону I, начинается процесс формирования экосистемы озера. Преобладают виды, относящиеся к холодноводным олиготрофным таксонам, что говорит о том, что в данный период при прохладном климате водоем оставался олиготрофным. Озеро на этом этапе являлось мелководным водоемом. Индекс Шеннона – Уивера в выделенной зоне составляет в среднем  $2.55 \pm 0.31$ , классифицируя статус озера как переходный от мезотрофного к олиготрофному. Средний показатель индекса Пиелу равен  $0.48 \pm 0.08$ , что свидетельствует о доминировании отдельных видов в кладоцерном сообществе. Индекс сапробности составляет 1.58, что указывает на  $\beta$ -мезосапробность озера [56].

Зона II (рис. 2, 9900–8600 кал. л. н., 442–418 см). В этой зоне отмечаются значительные изменения в составе субфоссильного кладоцерного сообщества, увеличивается роль отдельных видов, что является показателем смены эколого-климатической обстановки в озере. Отмечается резкое увеличение доли таксона *Chydorus* cf. *sphaericus* (рис. 2). Данный таксон отличается широкой экологической пластичностью, но увеличение его относительного количества в сообществе считается надежным показателем роста органической составляющей, показателем эвтрофирования водоема [57, 58]. Увеличение представленности *Alonella excisa* ассоциируется с мягкими и более продуктивными условиями среды, что подтверждается изменениями анализа ППП [59]. Одновременно происходит резкое снижение в сообществе доли субдоминантного холодноводного, олигосапробного таксона *Eubosmina longispina*, что, возможно, связано также с изменением трофности водоема и потеплением климата в регионе. В хириноmidном сообществе в этот временной интервал также наблюдаются значительные изменения в структуре сообщества: холодолюбивые таксоны заменяются обитателями умеренных и мезотрофных водоемов, отражая климатические изменения в сторону потепления [25].

Индекс Шеннона – Уивера в выделенной зоне возрастает до  $3.1 \pm 0.14$ , средний показатель индекса Пиелу –  $0.74 \pm 0.01$ . Индекс сапробности в среднем составляет 1.43. Значения индексов свидетельствуют о наличии достаточно выровненного сообщества в олиготрофном водоеме.

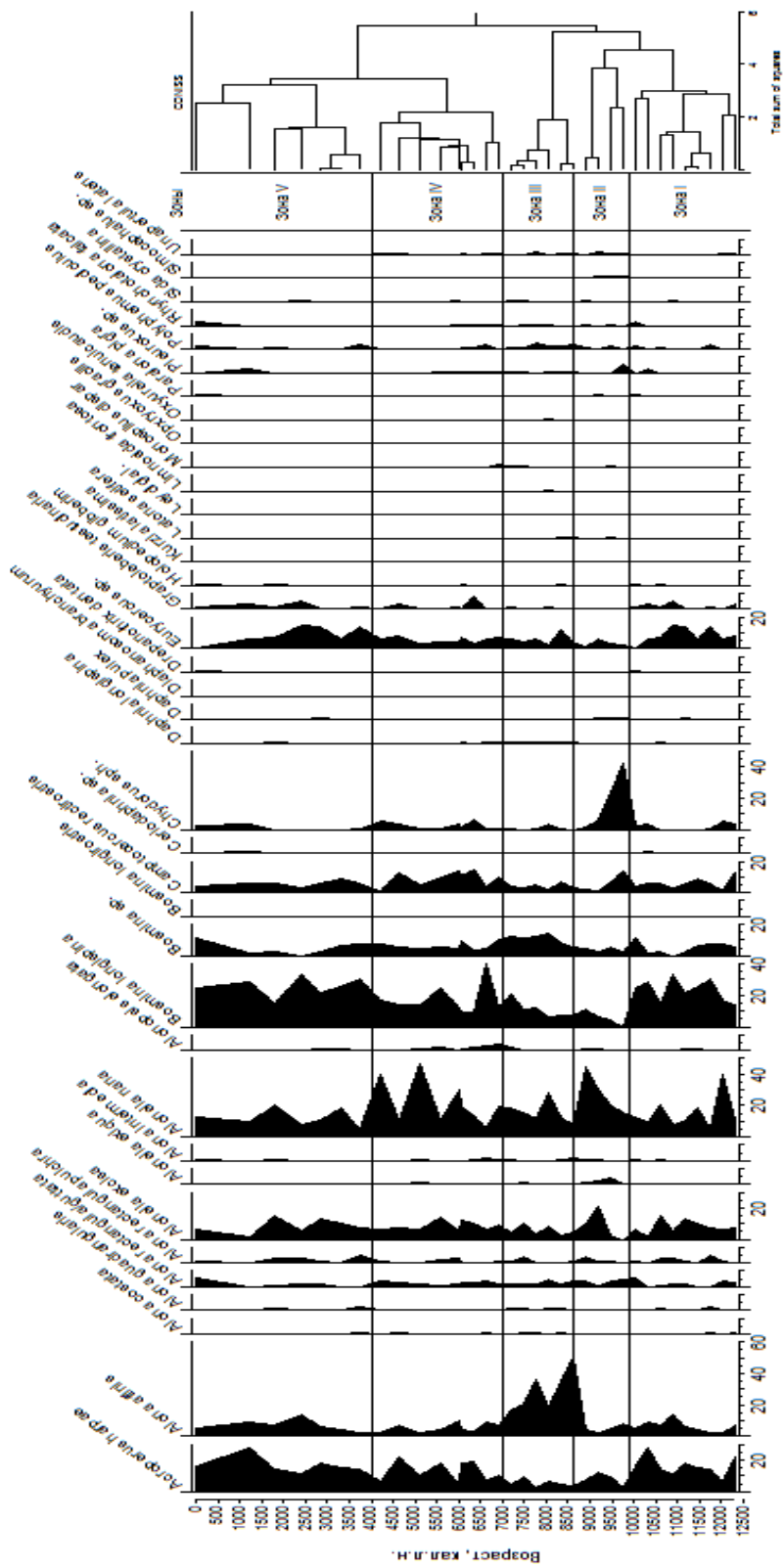


Рис. 2. Стратиграфическое распределение основных таксонов Sladosega в колонке донных отложений оз. Медведевское

Следующая палеозона (рис. 2, зона III, 8600–7000 кал. л. н., 418–382 см) характеризуется дальнейшим увеличением биологического разнообразия: растет значимость литоральных и фитофильных видов (*Alona affinis*, *Alonella nana*, *A. excisa*), заметно сокращается количество обнаруженных остатков *Acroperus harpae* – индикатора холодных температур [60]. Одновременно происходит увеличение доли хищного *Polyphemus pediculus*, пик развития которого приходится на этот период. Увеличение значимости *Alona affinis*, предпочитающего застойные водоемы, связывают с повышением трофического статуса водоема [61]. Перечисленные косвенные свидетельства являются признаком потепления климата в данный период времени. На рассматриваемом этапе развития озера происходит смена седиментации, сопровождающаяся увеличением органической составляющей в донных отложениях, что связано, вероятно, с изменением природных обстановок на водосборе. С повышением температур постепенно увеличивается биоразнообразие, увеличивается трофность водоема [25]. Значения индексов меняются незначительно по сравнению с предыдущей зоной: среднее значение индекса Шеннона – Уивера  $-3.21 \pm 0.08$ , индекса Пиелу  $-0.74 \pm 0.02$ , индекс сапробности составил в среднем 1.31.

В зоне 7000–4000 кал. л. н. (рис. 2, зона IV, 382–286 см) преобладают таксоны *Alonella nana*, *Acroperus harpae*, *Camptocercus rectirostris*, *Eurycercus lamellatus*. Вновь возрастает значимость обитателя открытой воды *Eubosmina longispina*, обнаруженные остатки которого составляют 17.07% из всех субфоссилий, обнаруженных в палеозоне. Отмечается резкое уменьшение количества фитофильного вида *Alona affinis*, прогрессирующего в предыдущей зоне. В верхней части горизонта отмечается увеличение количества субфоссильных остатков экзоскелета, принадлежащих *Chydorus* cf. *sphaericus*, что можно связать с начальным этапом эвтрофикации озера. По результатам хирономидного анализа на данном этапе эволюции водоема происходит уменьшение количества кислорода в водоеме и повышение его трофического статуса [25]. Индекс видового богатства и разнообразия Шеннона – Уивера кладоцерных сообществ постепенно уменьшается и доходит в среднем до  $3.05 \pm 0.19$ , среднее значение индекса Пиелу  $-0.73 \pm 0.04$ . Индекс сапробности составил 1.4.

В отложениях, датированных возрастом после 4000 кал. л. н. (рис. 2, зона V, 286–0 см), наблюдается увеличение доли холодноводных видов, таких как *Acroperus harpae* и *Eubosmina longispina*. Стоит отметить, что *Acroperus harpae* является толерантным к ацидофильным условиям среды [60], что актуально для оз. Медведовское с рН, значения которого колеблются в настоящее время в пределах 5.1–5.3 [28]. На современном этапе изучения в фитопланктоне озера преобладают рафидофитовые водоросли, свойственные стоячим водоемам, болотам. Озеро на современном этапе развития можно отнести к категории слабозагрязненных водоемов [28].

Хирономидный анализ выявил доминирование теплолюбивых обитателей литоральной зоны озера на современном этапе развития водоема и некоторое похолодание в регионе исследования [25]. Индекс Шеннона – Уивера возрастает до  $3.17 \pm 0.09$ , индекс Пиелу составил в среднем  $0.7 \pm 0.04$ . Индекс сапробности составил 1.38.



Таким образом, значения индекса Шеннона – Уивера варьируют в пределах от 1.45 до 3.57, минимальные значения индекса приходится на момент образования оз. Медведовское. Среднее значение индекса Шеннона – Уивера составляет  $2.89 \pm 0.1$ , что позволяет отнести озеро к категории олиготрофных водоемов [62]. Средние значения индекса Пиелу составили  $0.68 \pm 0.03$ , что характеризует кладоцерное сообщество в водоеме как достаточно выравненное. Индекс сапробности на всех этапах озера колебался незначительно, составляя в среднем 1.41, что позволяет отнести оз. Медведовское к олигосапробным водоемам [56].

### Заключение

Изучение кладоцерных таксотанатоценозов, структуры сообществ и смены его доминантов на протяжении всего периода существования оз. Медведовское, позволило реконструировать развитие лимнических условий озера, восстановить картину климатических изменений прошлого для Карельского перешейка, а также сравнить полученные результаты с данными предыдущих исследований и дополнить их.

Изменение климатических условий и трофического статуса озера отчетливо отражается на таксономическом разнообразии кладоцерного сообщества, что позволяет сопоставить зоны доминирования определенных видов с отдельными этапами развития водоема. Выраженные доминанты в сообществе отсутствуют и, следовательно, оно является достаточно выравненным. Субдоминантами кладоцерного сообщества являлись *Bosmina (Eubosmina) longispina* и *Alonella nana*. Это свидетельствует о наличии как развитой пелагической зоны, так и зоны макрофитов в оз. Медведовское. Согласно анализу стратиграфического распределения основных таксонов Cladocera в колонке донных отложений на протяжении голоцена происходит замена холодноводных видов теплолюбивыми. Полученные результаты согласуются с ранее полученными данными хирономидного анализа [25].

Водоем, на начальном этапе своего развития являющийся олиго-мезотрофным, эволюционировал как олиготрофный водоем, сохраняя свой статус до настоящего времени. Однако на современном этапе в озере прослеживается тенденция к эвтрофикации и накоплению минеральных веществ.

**Благодарности.** Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности, а также при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 18-05-00406, 17-34-50129, 18-35-00328).

### Литература

1. Ulrich M., Wetterich S., Rudaya N., Frolova L., Schmidt J., Siegert C., Fedorov A.N., Zielhofer C. Rapid thermokarst evolution during the mid-Holocene in Central Yakutia, Russia // *Holocene*. – 2017. – V. 27, No 12. – P. 1899–1913. – doi: 10.1177/0959683617708454.
2. Frolova L.A. Cladocera from bottom deposits as an indicator of changes in climate and ecological conditions // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* – 2017. – V. 107. – Art. 012084, P. 1–4. – doi: 10.1088/1755-1315/107/1/012084.
3. Демежко Д.Ю. Реконструкция климата позднего плейстоцена-голоцена Урала по геотермическим данным: Дис. ... д-ра геол.-минер. наук. – Екатеринбург, 2001. – 222 с.

4. Фролова Л.А. Ветвистоусые ракообразные (*Cladocera* Latreille, 1829, Branchiopoda, Crustacea) в палеоэкологических исследованиях // Методические подходы к использованию биологических индикаторов в палеоэкологии / Науч. ред. Л.Б. Назарова. – Казань: Казан. ун-т, 2011. – С. 52–87.
5. Kosareva L.R., Nurgalieva N.G., Frolova L.A., Gafiatullina L.I., Krylov P.S., Terekhin A.A., Tishin D.V., Batalin G.A., Gareev B.I., Kuzina D.M., Antonenko V.V., Akhmerov R.D. The integrated exploration of Raifa lake sediments and dendrochronological analysis of Raifa forestry pines // ARPN J. Eng. Appl. Sci. – 2017. – V. 12, No 7. – P. 2192–2206.
6. Акрамов З.М., Калесник С.В., Вахабов М.Г., Далимов Н.Д., Пославская О.Ю., Смирнов Н.В., Хисамов А.В., Цапенко Н.Г. Советский Союз. Географическое описание в 22 т. Узбекистан. – М.: Мысль, 1967. – 318 с.
7. Frolova L., Frolova A. Implication of ephippium analysis (*Cladocera*, Branchiopoda, Crustacea) for reconstruction of past environmental changes in Central Yakutia, Russia // 17th Int. Multidiscip. Sci. GeoConf. SGEM 2017: Conf. Proc. – 2017. – V. 17, No 41. – P. 481–486. – doi: 10.5593/sgem2017/41/S19.061.
8. Rudaya N., Nazarova L., Nourgaliev D., Palagushkina O., Papin D., Frolova L. Mid-late Holocene environmental history of Kulunda, southern West Siberia: Vegetation, climate and humans // Quat. Sci. Rev. – 2012. – V. 48. – P. 32–42. – doi: 10.1016/j.quascirev.2012.06.002.
9. Frolova L.A., Ibragimova A. G., Ulrich M., Wetterich S. Reconstruction of the history of a thermokarst lake in the Mid-Holocene based on an analysis of subfossil *Cladocera* (Siberia, Central Yakutia) // Contemp. Probl. Ecol. – 2017. – V. 10, No 4. – P. 423–430. – doi: 10.1134/S1995425517040023.
10. Frey D.G. The ecological significance of cladoceran remains in lake sediments // Ecology. – 1960. – V. 41, No 4. – P. 684–699. – doi: 10.2307/1931802.
11. Frey D.G. *Cladocera* analysis // Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology / Ed. by B.E. Berglund. – Chichester: Wiley-Interscience; John Wiley & Sons Ltd., 1986. – P. 667–701.
12. Korhola A., Rautio M. *Cladocera* and other branchiopod crustaceans // Tracking environmental change using lake sediments. V. 4: Zoological indicators. – Dordrecht: Kluwer Acad. Publ., 2001. – P. 125–165.
13. Rautio M., Nevalainen L. *Cladocera* // Encyclopedia of Quaternary Science / (Ed. by S.A. Elias). – Amsterdam: Elsevier, 2013. – P. 271–280.
14. Hann B.J. Methods in Quaternary Ecology #6. *Cladocera* // Geosci. Canada. – 1989. – V. 16, No 1. – P. 17–26.
15. 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. Paleolimnol. – 1997. – V. 18, No 4. – P. 395–420. – doi: 10.1023/A:1007982008956.
16. Frolova L.A., Nazarova L.B., Pestryakova L.A., Herzs Schuh U. Analysis of the effects of climate-dependent factors on the formation of zooplankton communities that inhabit Arctic lakes in the Anabar River basin // Contemp. Probl. Ecol. – 2013. – V. 6, No 1. – P. 1–11. – doi: 10.1134/S199542551301006X.
17. Frolova L., Nazarova L., Pestryakova L., Herzs Schuh U. Subfossil *Cladocera* from surface sediment in thermokarst lakes in northeastern Siberia, Russia, in relation to limnological and climatic variables // J. Paleolimnol. – 2014. – V. 52, No 1–2. – P. 107–119. – doi: 10.1007/s10933-014-9781-7.

18. *Frolova L., Ibragimova A., Fedorova I.* Stratigraphy of Cladocera in a core from a Yamal Peninsula lake (Arctic Russia) // 16th Int. Multidisciplinary Sci. GeoConf. SGEM 2016: Conf. Proc. – 2016. – Book 4, V. 2. – P. 579–587. – doi: 10.5593/SGEM2016/B42/S19.074.
19. *Кузнецов Д.Д.* Трансформация палеобассейнов на территории Карельского перешейка в позднем неоплейстоцене и голоцене: по данным изучения донных отложений озер: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. – СПб., 2014. – 22 с.
20. *Субетто Д.А.* Донные отложения озер: палеолимнологические реконструкции. СПб.: РГПУ им. А.И. Герцена, 2009. – 309 с.
21. *Давыдова Н.Н.* Позднеплейстоценовая история Ладожского озера // История плейстоценовых озер Восточно-Европейской равнины / Отв. ред. В.И. Хомутова. – СПб.: Наука, 1998. – С. 134–140.
22. *Ibragimova A.G., Frolova L.A., Subetto D.A., Belkina N.A., Potakhin M.S.* The changes in the composition of Cladocera community in bottom sediments of Lake Maloye Shibrozzero (Zaonezhsky Peninsula) as a consequence of shifts of environmental and climatic conditions // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., – 2017. – V. 107. – Art. 012029, P. 1–9. – doi: 10.1088/1755-1315/107/1/012029.
23. *Ibragimova A., Frolova L., Subetto D.* Subfossil Cladocera from boreal lake Gahkozero (The Republic of Karelia, Russia) as paleoenvironmental proxies // 17th Int. Multidiscip. Sci. GeoConf. SGEM 2017: Conf. Proc. – 2017. – V. 17, No 41. – P. 589–597. – doi: 10.5593/SGEM2017/41/S19.07.
24. *Герасимов Д.В., Субетто Д.А., Бельский С.В.* Культурные трансформации в контексте изменений окружающей среды на Карельском перешейке и в Северном Приладожье в Голоцене // Хронология, периодизация и кросскультурные связи в каменном веке: Замятинский сб. / Отв. ред. Г.А. Хлопачев. – СПб.: Наука, 2008. – Вып. 1. – С. 164–172.
25. *Сырых Л.С., Назарова Л.Б., Субетто Д.А.* Предварительные данные о развитии климата на территории Карельского перешейка в голоцене по результатам хирономидного и литологического анализов // Труды КарНЦ РАН. Сер. Лимнология. – 2015. – № 5. – С. 53–59.
26. *Сакса А.И.* Карельский перешеек: формирование природного и историко-географического ландшафта // Археология, этнография и антропология Евразии. – 2006. – № 2. – С. 35–44.
27. *Субетто Д.А., Давыдова Н.Н., Сапелко Т.В., Вольфарт Б., Вастегорд С., Кузнецов Д.Д.* Климат северо-запада России на рубеже плейстоцена и голоцена // Изв. АН Сер. геогр. – 2003. – № 5. – С. 80–91.
28. *Трифонов И.С., Афанасьева А.Л., Русанов А.Г., Станилавская Е.В.* Растительные сообщества озер центральной части карельского перешейка как индикаторы их экологического состояния // Изв. Сам. науч. центра РАН. – 2014. – Т. 16, № 1. – С. 1034–1038.
29. *Сенников А.Н.* Фитогеографическое районирование Северо-Запада европейской части России (Ленинградская, Псковская и Новгородская области) // Биогеография Карелии. Труды КарНЦ РАН. – 2005. – Вып. 7. – С. 206–243.
30. *Андроников А.В., Субетто Д.А., Лауретта Д.С., Андроникова И.Е., Дросенко Д.А., Кузнецов Д.Д., Сапелко Т.В., Сырых Л.С.* Поиск следов метеоритного удара: особенности распределения микроэлементов в позднеплейстоценовых осадках оз. Медведевского (Карельский перешеек, Россия) // Докл. РАН. – 2014. – Т. 457, № 1. – С. 69–73. – doi: 10.7868/S0869565214190190.
31. *Subetto D.A., Wohlfarth B., Davydova N.N., Sapelko T.V., Bjorkman L., Solovieva N., Wastegard S., Possnert G., Khomutova V.I.* Climate and environment on the Karelian Isthmus, northwestern Russia, 13000–9000 cal. yrs BP // *Boreas*. – 2002. – V. 31, No 1. – P. 1–19. – doi: 10.1111/j.1502-3885.2002.tb01051.x.

32. *Frey D.G.* Littoral and offshore communities of diatoms, cladocerans and dipterous larvae, and their interpretation in paleolimnology // *J. Paleolimnol.* – 1988. – V. 1, No 3. – P. 179–191. – doi: 10.1007/BF00177764.
33. *Пестрякова Л.А., Николаев А.Н., Субетто Д.А., Фролова Л.А., Бобров А.А., Городничев Р.М.* Палеоэкология. Методологические основы палеоэкологии. – Якутск: Изд. дом Сев.-Вост. фед. ун-та, 2016. – 84 с.
34. *Szeroczyńska K., Sarmaja-Korjonen K.* Atlas of Subfossil Cladocera from Central and Northern Europe. – Friends of the Lower Vistula Society, 2007. – 84 p.
35. *Korosi J.B., Smol J.P.* An illustrated guide to the identification of cladoceran subfossils from lake sediments in northeastern North America: Part 1– the Daphniidae, Leptodoridae, Bosminidae, Polyphemidae, Holopedidae, Sididae, and Macrothricidae // *J. Paleolimnol.* – 2012. – V. 48, No 3. – P. 571–586. – doi: 10.1007/s10933-012-9632-3z.
36. *Фролова Л.А.* Cladocera // Биологические индикаторы в палеобиологических исследованиях: Атлас / Науч. ред. Л.Б. Назарова. – Казань: Казан. ун-т, 2013. – С. 44–64.
37. *Смирнов Н.Н.* Фауна СССР. Ракообразные. Т. 1, Вып. 2: Chydoridae фауны мира – М.-Л.: Наука, 1971. – 531 с.
38. *Котов А.А., Синев А.Ю., Глаголев С.М., Смирнов Н.Н.* Ветвистоусые ракообразные (Cladocera) // Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1: Зоопланктон / Под ред. В.Р. Алексеева, С.Я. Цалолихина. – М.: Т-во науч. изд. КМК, 2010. – С. 151–276.
39. *Flössner D.* Die Naplopoda und Cladocera (ohne Bosminidae) Mitteleuropas. – Leiden: Backhuys Publ., 2000. – 428 p.
40. *Alonso M.* Fauna Iberica. V. 7: Crustacea, Branchiopoda. – Madrid: Museo Nacional de Ciencias Naturales CSIC, 1996. – 486 p. (на исп. яз.)
41. *Shannon C.E., Weaver W.* The mathematical theory of communication. – Urbana: Univ. Illinois Press, 1963. – 117 p.
42. *Pielou E.C.* The measurement of diversity in different types of biological collections // *J. Theor. Biol.* – 1966. – V. 13. – P. 131–144. – doi: 10.1016/0022-5193(66)90013-0.
43. *Pantle F., Buck H.* Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse // *Gas- und Wasserfach.* – 1955. – Bd 96, H. 18. – S. 604–620.
44. Количественные методы экологии и гидробиологии: Сб. науч. тр., посвящ. памяти А.И. Баканова / Отв. ред. чл.-корр. РАН Г.С. Розенберг. – Тольятти: СамНЦ РАН, 2005. – 404 с.
45. *Juggins S.* C2. Software for ecological and palaeoecological data analysis and visualization. Version 1.5 User guide. – Newcastle upon Tyne, UK: Newcastle University, 2007. – 73 p.
46. *Grimm E.C.* TGView 2.0.2 (Software). – Illinois, USA: Illinois State Museum. Springfield, 2004.
47. *Chengalath R., Bruce W.J., Scruton D.A.* Rotifer and crustacean plankton communities of lakes in insular Newfoundland // *Verh. Int. Verein. Limnol.* – 1984. – V. 22, No 1. – P. 419–430.
48. *Nevalainen L.* Sexual reproduction in chydorid cladocerans (Anomopoda, Chydoridae) in southern Finland – implication for paleolimnology: Doct. diss. – Helsinki: University of Helsinki, 2008. – 55 p.
49. *Смирнов Н.Н.* Историческая экология пресноводных зооценозов. – М.: Т-во науч. изд. КМК, 2010. – 225 с.

50. *Sarmaja-Korjonen K.* Headshields of ehippial *Chydorus piger* Sars (Cladocera, Chydoridae) females from northern Finnish Lapland: A long period of gamogenesis? // *Hydrobiologia*. – 1999. – V. 390, No 1–3. – P. 11–18. – doi: 10.1023/A:1003507300981.
51. *Sarmaja-Korjonen K.* Multi-proxy data from Kaksoislammi Lake in Finland: Dramatic changes in the late Holocene cladoceran assemblages // *J. Paleolimnol.* – 2002. – V. 28, No 3. – P. 287–296. – doi: 10.1023/A:1021611225821.
52. *Sarmaja-Korjonen K.* Chydorid ehippia as indicators of past environmental changes – a new method // *Hydrobiologia*. – 2004. – V. 526, No 1. – P. 129–136. – doi: 10.1023/B:HYDR.0000041595.08121.ab
53. *Mäemets A.* Eesti vesikirbuliste (Cladocera) ökoloogias ja fenoloogias // *Hüdrobioloogilised uurimused*. – 1961. – V. 2. – P. 108–158. (на эст. яз.)
54. *Sandøy S., Nilssen J.P.* A geographical survey of littoral crustacea in Norway and their use in paleolimnology // *Hydrobiologia*. – 1986. – V. 143, No 1. – P. 277–286. – doi: 10.1007/BF00026671.
55. *Frolova L.* Subfossil Cladocera (Branchiopoda, Crustacea) in climatic and palaeoenvironmental investigations in Eastern Siberia (Russia) // 16th Int. Multidiscip. Sci. GeoConf. SGEM 2016: Conf. Proc. – 2016. – Book 4, V. 2. – P. 601–606. – doi: 10.5593/SGEM2016/B42/S19.077.
56. *Sládeček V.* System of water quality from the biological point of view // *Arch. Hydrobiol. Ergebnisse der Limnologie*. – 1973. – Bd. 7. – P. 1–218.
57. *Frolova L., Nazarova L., Pestryakova L., Herzsuh U.* Subfossil Cladocera from surface sediment in thermokarst lakes in northeastern Siberia, Russia, in relation to limnological and climatic variables // *J. Paleolimnol.* – 2014. – V. 52, No 1. – P. 107–119. – doi: 10.1007/s10933-014-9781-7.
58. *Ibragimova A.G., Frolova L.A., Grekov I.M.* Results of subfossil Cladocera (Branchiopoda, Crustacea) analyses from bottom deposits of Lake Antyukh-Lambina (Kola Peninsula, Murmansk region) // *Res. J. Pharm., Biol. Chem. Sci.* – 2016. – V. 7, No 6. – P. 3201–3206.
59. *Catalan J., Barbieri M.G., Bartumeus F., Bitušik P., Botev I., Brancelj A., Cogălniceanu D., Manca M., Marchetto A., Ognjanova-Rumenova N., Pla S., Rieradevall M., Sorvari S., Štefková E., Stuchlík E., Ventura M.* Ecological thresholds in European alpine lakes // *Freshwater Biol.* – 2009. – V. 54, No 12. – P. 2494–2517. – doi: 10.1111/j.1365-2427.2009.02286.x.
60. *Bledzki L.A., Rybak J.I.* Freshwater Crustacean Zooplankton of Europe: Cladocera & Copepoda (Calanoida, Cyclopoida) Key to species identification, with notes on ecology, distribution, methods and introduction to data analysis. – Springer, 2016. – 936 p.
61. *Buczko K., Korponai J., Padisák J., Starratt S.W.* (eds.) Palaeolimnological Proxies as Tools of Environmental Reconstruction in Fresh Water. – Springer, 2009. – 327 p.
62. *Андроникова И.Н.* Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических уровней. Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Л., 1989. – 39 с.

Поступила в редакцию  
02.03.17

---

**Фролова Лариса Александровна**, кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник Института фундаментальной медицины и биологии

Казанский (Приволжский) федеральный университет  
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия  
E-mail: Larissa.Frolova@kpfu.ru

**Ибрагимова Айсылу Гумеровна**, аспирант Института фундаментальной медицины и биологии

Казанский (Приволжский) федеральный университет

ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия

E-mail: [Ais5\\_ibragimova@mail.ru](mailto:Ais5_ibragimova@mail.ru)

**Субетто Дмитрий Александрович**, доктор географических наук, директор

Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН

пр. Александра Невского, д. 50, г. Петрозаводск, 185003, Россия

E-mail: [Subetto@mail.ru](mailto:Subetto@mail.ru)

**Назарова Лариса Борисовна**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института наук о Земле и окружающей среде

Университет Потсдама

Карл-Либкнехт штрассе, д. 24/25, г. Потсдам, 14476, Германия

E-mail: [larisa.nazarova@awi.de](mailto:larisa.nazarova@awi.de)

**Сырых Людмила Сергеевна**, аспирант кафедры физической географии и природопользования

Российский государственный педагогический университет имени А. И. Герцена

наб. реки Мойки, д. 48, г. Санкт-Петербург, 191186, Россия

E-mail: [Lyudmilalsd@gmail.com](mailto:Lyudmilalsd@gmail.com)

ISSN 2542-064X (Print)

ISSN 2500-218X (Online)

UCHENYE ZAPISKI KAZANSKOGO UNIVERSITETA. SERIYA ESTESTVENNYE NAUKI

(Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series)

2018, vol. 160, no. 1, pp. 93–110

**Paleoecological and Paleoclimatic Reconstructions for the Karelian Isthmus Based on the Study of Subfossil Cladocerans from Lake Medvedevskoe (Northwest Russia)**

L.A. Frolova<sup>a\*</sup>, A.G. Ibragimova<sup>a\*\*</sup>, D.A. Subetto<sup>b\*\*\*</sup>, L.B. Nazarova<sup>c\*\*\*\*</sup>, L.S. Syrykh<sup>d\*\*\*\*\*</sup>

<sup>a</sup>Kazan Federal University, Kazan, 420008 Russia

<sup>b</sup>Northern Water Problems Institute, Karelian Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, 185003 Russia

<sup>c</sup>University of Potsdam, Potsdam, 14469 Germany

<sup>d</sup>Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg, 191186 Russia

E-mail: \*[Larissa.Frolova@kpfu.ru](mailto:Larissa.Frolova@kpfu.ru), \*\*[Ais5\\_ibragimova@mail.ru](mailto:Ais5_ibragimova@mail.ru), \*\*\*[Subetto@mail.ru](mailto:Subetto@mail.ru),

\*\*\*\*[larisa.nazarova@awi.de](mailto:larisa.nazarova@awi.de), \*\*\*\*\*[Lyudmilalsd@gmail.com](mailto:Lyudmilalsd@gmail.com)

Received March 2, 2017

**Abstract**

The purpose of our study is to reconstruct the climatic and environmental changes that took place over the Holocene in Northwest Russia. The results of the palaeobiological analysis of cladoceran community of Lake Medvedevskoe (Karelian Isthmus, located between the Gulf of Finland of the Baltic Sea and Lake Ladoga, Northwest Russia) have been discussed. In the sediments of Lake Medvedevskoe, we have identified 38 cladoceran taxa that belong to 7 families: *Bosminidae*, *Holopedidae*, *Chydoridae*, *Daphnidae*, *Polyphemidae*, *Macrotrichidae*, and *Sididae*. It has been revealed that *Bosmina* (*Eubosmina*) *longispina* and *Alonella nana* are the most common for subfossil Cladocera community of the lake. Palearctic and Holarctic species are dominant. Both pelagic and littoral taxa are well represented in the lake. The down-core changes in cladoceran community allowed to identify five statistically significant zones. It has been discovered that the taxonomic richness of biological communities is low at the bottom of the core with the dominance of typical northern species and increases towards the sediment surface alongside with the rise of organic content in sediments. Based on the shifts in the taxonomic composition of cladoceran

community, we have concluded upon the trophic status of the lake and climate changes. The obtained data have been compared with the results of the chironomid analysis that was performed earlier.

**Keywords:** paleoclimatic reconstructions, subfossil Cladocera, Lake Medvedevskoe, Karelian Isthmus

**Acknowledgments.** The work is performed according to the Russian Government Program of Competitive Growth of Kazan Federal University and supported by the Russian Foundation for Basic Research (projects nos. 18-05-00406, 17-34-50129, and 18-35-00328).

### Figure Captions

Fig. 1. The physico-geographical location of Lake Medvedevskoe.

Fig. 2. The stratigraphic distribution of the main cladoceran taxa in the sediment core from Lake Medvedevskoe.

### References

- Ulrich M., Wetterich S., Rudaya N., Frolova L., Schmidt J., Siegert C., Fedorov A.N., Zielhofer C. Rapid thermokarst evolution during the mid-Holocene in Central Yakutia, Russia. *Holocene*, 2017, vol. 27, no. 12, pp. 1899–1913. doi: 10.1177/0959683617708454.
- Frolova L.A. Cladocera from bottom deposits as an indicator of changes in climate and ecological conditions. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 2017, vol. 107, art. 012084, pp. 1–4. doi: 10.1088/1755-1315/107/1/012084.
- Demezko D.Yu. Climate reconstruction of the Late Pleistocene-Holocene in the Urals by geothermal data. *Doct. Geol.-Mineral. Sci. Diss.* Yekaterinburg, 2001. 222 p. (In Russian)
- Frolova L.A. Cladocerans (*Cladocera* Latreille, 1829, Branchiopoda, Crustacea) in paleoecological research. In: *Metodicheskie podkhody k ispol'zovaniyu biologicheskikh indikatorov v paleoekologii* [Methodological Approaches to Using Biological Indicators in Paleoecology]. Nazarova L.B. (Ed.). Kazan, Kazan. Univ., 2011, pp. 52–87. (In Russian)
- Kosareva L.R., Nurgalieva N.G., Frolova L.A., Gafiatullina L.I., Krylov P.S., Terekhin A.A., Tishin D.V., Batalin G.A., Gareev B.I., Kuzina D.M., Antonenko V.V., Akhmerov R.D. The integrated exploration of Raifa lake sediments and dendrochronological analysis of Raifa forestry pines. *ARPJ. Eng. Appl. Sci.*, 2017, vol. 12, no. 7, pp. 2192–2206.
- Akramov Z.M., Kalesnik S.V., Vakhobov M.G., Dalimov N.D., Poslavskaya O.Yu., Smirnov N.V., Khisamov A.V., Tsapenko N.G. *Sovetskii Soyuz. Geograficheskoe opisaniye v 22 t.* [Soviet Union. Geographical Description in 22 Vols. Uzbekistan]. Moscow, Mysl', 1967. 318 p. (In Russian)
- Frolova L., Frolova A. Implication of ephippium analysis (Cladocera, Branchiopoda, Crustacea) for reconstruction of past environmental changes in Central Yakutia, Russia. *17th Int. Multidiscip. Sci. GeoConf. SGEM 2017: Conf. Proc.*, 2017, vol. 17, no. 41, pp. 481–486. doi: 10.5593/sgem2017/41/S19.061.
- Rudaya N., Nazarova L., Nourgaliev D., Palagushkina O., Papin D., Frolova L. Middle-late Holocene environmental history of Kulunda, southern West Siberia: Vegetation, climate and humans. *Quat. Sci. Rev.*, 2012, vol. 48, pp. 32–42. doi: 10.1016/j.quascirev.2012.06.002.
- Frolova L.A., Ibragimova A. G., Ulrich M., Wetterich S. Reconstruction of the history of a thermokarst lake in the Mid-Holocene based on an analysis of subfossil Cladocera (Siberia, Central Yakutia). *Contemp. Probl. Ecol.*, 2017, vol. 10, no. 4, pp. 423–430. doi: 10.1134/S1995425517040023.
- Frey D.G. The ecological significance of cladoceran remains in lake sediments. *Ecology*, 1960, vol. 41, no. 4, pp. 684–699. doi: 10.2307/1931802.
- Frey D.G. Cladocera analysis. In: *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. Berglund B.E. (Ed.). Chichester, Wiley-Interscience, John Wiley & Sons Ltd., 1986, pp. 667–701.
- Korhola A., Rautio M. Cladocera and other branchiopod crustaceans. In: *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Vol. 4: Zoological Indicators*. Dordrecht, Kluwer Acad. Publ., 2001, pp. 125–165.
- Rautio M., Nevalainen L. Cladocera. In: *Encyclopedia of Quaternary Science*. Elias S.A. (Ed.). Amsterdam, Elsevier, 2013, pp. 271–280.

14. Hann B.J. Methods in quaternary ecology #6. Cladocera. *Geosci. Can.*, 1989, vol. 16, no. 1, pp. 17–26.
15. 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. Paleolimnol.*, 1997, vol. 18, no. 4, pp. 395–420. doi: 10.1023/A:1007982008956.
16. Frolova L.A., Nazarova L.B., Pestryakova L.A., Herzs Schuh U. Analysis of the effects of climate-dependent factors on the formation of zooplankton communities that inhabit Arctic lakes in the Anabar River basin. *Contemp. Probl. Ecol.*, 2013, vol. 6, no. 1, pp. 1–11. doi: 10.1134/S199542551301006X.
17. Frolova L., Nazarova L., Pestryakova L., Herzs Schuh U. Subfossil Cladocera from surface sediment in thermokarst lakes in northeastern Siberia, Russia, in relation to limnological and climatic variables. *J. Paleolimnol.*, 2014, vol. 52, no. 1–2, pp. 107–119. doi: 10.1007/s10933-014-9781-7.
18. Frolova L., Ibragimova A., Fedorova I. Stratigraphy of Cladocera in a core from A Yamal Peninsula lake (Arctic Russia). *Proc. 16th Int. Multidiscip. Sci. GeoConf. SGEM 2016*, 2016, book 4, vol. 2, pp. 579–587. doi: 10.5593/SGEM2016/B42/S19.074.
19. Kuznetsov D.D. Transformation of paleobasins at the territory of the Karelian Isthmus in the Late Pleistocene and Holocene according to the study of lake bottom sediments. *Extended Abstract of Cand. Geogr. Sci. Diss.* St. Petersburg, 2014. 22 p. (In Russian)
20. Subetto D.A. *Donnye otlozheniya ozer: paleolimnologicheskie rekonstruktsii* [Bottom Sediments of Lakes: Paleolimnological Reconstructions]. St. Petersburg, RGPU im A.I. Gertsena, 2009. 309 p. (In Russian)
21. Davydova, N.N. Late Pleistocene history of Lake Ladoga. In: *Istoriya pleistotsenovykh ozer Vostochno-Evropeiskoi ravniny* [The History of Pleistocene Lakes of the East European Plain]. Kholmutova V.I. (Ed.). St. Petersburg, 1998, pp. 134–140. (In Russian)
22. Ibragimova A.G., Frolova L.A., Subetto D.A., Belkina N.A., Potakhin M.S. The changes in the composition of Cladocera community in bottom sediments of Lake Maloye Shirozero (Zaonezhsky Peninsula) as a consequence of shifts of environmental and climatic conditions. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 2017, vol. 107, art. 012029, pp. 1–9. doi: 10.1088/1755-1315/107/1/012029.
23. Ibragimova A., Frolova L., Subetto D. Subfossil Cladocera from boreal lake Gahkozero (The Republic of Karelia, Russia) as paleoenvironmental proxies. *17th Int. Multidiscip. Sci. GeoConf. SGEM 2017: Conf. Proc.*, 2017, vol. 17, no. 41, pp. 589–597. doi: 10.5593/SGEM2017/41/S19.07.
24. Gerasimov D.V., Subetto D.A., Belskii S.V. Cultural transformations in the context of environmental changes on the Karelian Isthmus and Northern Ladoga region during the Holocene. In: *Khronologiya, periodizatsiya i krosskul'turnye svyazi v kamennom veke* [The Chronology, Periodization and Cross-Cultural Communications in the Stone Age]. Vol. 1. Khlopachev G.A. (Ed.). St. Petersburg, Nauka, 2008, pp. 164–172. (In Russian)
25. Syrykh L.S., Nazarova L.B., Subetto D.A. Preliminary data on climate development in the territory of the Karelian Isthmus during the Holocene based on the results of chironomid and lithological analyses. *Tr. Karel. Tsentra, Ross. Akad. Nauk, Ser. Limnol.*, 2015, no. 5, pp. 53–59. (In Russian)
26. Saksa A.I. Karelian Isthmus: Natural and historical-geographical landscape formation. *Arkheol., Etnogr. Antropol. Evrazii*, 2006, no. 2, pp. 35–44. (In Russian)
27. Subetto D.A., Davydova N.N., Sapelko, T.V., Wohlfarth B., Vastegord S., Kuznetsov D.D. The climate of the Northwestern Russia at the turn of the Pleistocene and Holocene. *Izv. Ross. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2003, no. 5, pp. 80–91. (In Russian)
28. Trifonova I.S., Afanasiev A.L., Rusanov, A.G., Stanislavskaya E.V. Plant communities of lakes in the central part of the Karelian Isthmus as indicators of their ecological status. *Izv. Samar. Nauchn. Tsentra Ross. Akad. Nauk*, 2014, vol. 16, no. 1, pp. 1034–1038. (In Russian)
29. Sennikov A.N. Phytogeographical regionalization of the northwestern European part of Russia (Leningrad, Pskov, and Novgorod regions). *Biogeogr. Karelii. Tr. Karel. Nauchn. Tsentra Ross. Akad. Nauk*, 2005, no. 7, pp. 206–243. (In Russian)



30. Andronikov A.V., Subetto D.A., Lauretta D.S., Andronikova I.E., Drosenko D.A., Kuznetsov D.D., Sapelko T.V., Syrykh L.S. In search for fingerprints of an extraterrestrial event: Trace element characteristics of sediments from the Lake Medvedevskoye (Karelian Isthmus, Russia). *Dokl. Earth Sci.*, 2014, vol. 457, no. 1, pp. 819–823. doi: 10.1134/S1028334X14070022.
31. Subetto D.A., Wohlfarth B., Davydova N.N., Sapelko T.V., Bjorkman L., Solovieva N., Wastegard S., Possnert G., Khomutova V.I. Climate and environment on the Karelian Isthmus, northwestern Russia, 13 000–9000 cal. yrs BP. *Boreas*, 2002, vol. 31, no. 1, pp. 1–19. doi: 10.1111/j.1502-3885.2002.tb01051.x.
32. Frey D.G. Littoral and offshore communities of diatoms, cladocerans and dipterous larvae, and their interpretation in paleolimnology. *J. Paleolimnol.*, 1988, vol. 1, no. 3, pp. 179–191. doi: 10.1007/BF00177764.
33. Pestryakova L.A., Nikolaev A.N., Subetto D.A., Frolova L.A., Bobrov A.A., Gorodnichev R.M. *Paleoekologiya. Metodologicheskie osnovy paleoekologii* [Paleoecology. Methodological Basis for Paleoecology]. Yakutsk, Izd. Dom Sev.-Vost. Fed. Univ., 2016. 84 p. (In Russian)
34. Szeroczyńska K., Sarmaja-Korjonen K. *Atlas of Subfossil Cladocera from Central and Northern Europe*. Friends Lower Vistula Soc., 2007. 84 p.
35. Korosi J.B., Smol J.P. An illustrated guide to the identification of cladoceran subfossils from lake sediments in northeastern North America: Part 1– the Daphniidae, Leptodoridae, Bosminidae, Polyphemidae, Holopedidae, Sididae, and Macrothricidae. *J. Paleolimnol.*, 2012, vol. 48, no. 3, pp. 571–586. doi: 10.1007/s10933-012-9632-3z.
36. Frolova L.A. Cladocera. In: *Biologicheskie indicatory v paleobiologicheskikh issledovaniyakh: Atlas* [Biological Indicators in Paleobiological Investigations: Atlas]. Nazarova L.B. (Eds.). Kazan, Kazan. Univ., 2013, pp. 44–64. (In Russian)
37. Smirnov N.N. *Fauna SSSR. Rakoobraznye* [The Fauna of the USSR. Crustaceans]. Vol. 1, No. 2: Chydoridae of the World Fauna. Moscow, Leningrad, Nauka, 1971. 531 p. (In Russian)
38. Kotov A.A., Sinev A.Yu., Glagolev S.M., Smirnov N.N. Cladocerans (Cladocera). In: *Opredelitel' zooplanktona i zoobentosa presnykh vod Evropeiskoi Rossii* [Identification Key of Zooplankton and Zoobenthos of European Russian Freshwaters]. Vol. 1: Zooplankton. Alekseev V.R., Tsalolikhin S.Ya. (Eds.). Moscow, T-vo Nauchn. Izd. KMK, 2010. pp. 151–276. (In Russian)
39. Flössner D. *Die Haplopoda und Cladocera (ohne Bosminidae) Mitteleuropas*. Leiden, Backhuys Publ., 2000. 428 p. (In Russian)
40. Alonso M. *Fauna Iberica*. Vol. 7: Crustacea, Branchiopoda. Madrid, Mus. Nac. Cienc. Nat. CSIC, 1996. 486 p. (In Spanish)
41. Shannon C.E., Weaver W. *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana, Univ. Ill. Press, 1963. 117 p.
42. Pielou E.C. The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. Theor. Biol.*, 1966, vol. 13, pp. 131–144. doi: 10.1016/0022-5193(66)90013-0.
43. Pantle F., Buck H. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. *Gas- Wasserfach*, 1955, Bd. 96, H. 18, S. 604–620.
44. *Kolichestvennyye metody ekologii i gidrobiologii: Sb. nauch. tr. posvyashch. pamyati A.I. Bakanova* [Quantitative Methods of Ecology and Hydrobiology: Collection of Scientific Papers Dedicated to the Memory of A.I. Bakanova]. Rosenberg G.S. (Ed.). Tolyatti, SamNTs Ross. Akad. Nauk, 2005. 404 p. (In Russian)
45. Juggins S. *C2 Version 1.5 User Guide. Software for Ecological and Palaeoecological Data Analysis and Visualization*. Newcastle upon Tyne, Newcastle Univ., 2007.
46. Juggins S. *C2. Software for Ecological and Palaeoecological Data Analysis and Visualization. Version 1.5 User Guide*. Newcastle upon Tyne, UK: Newcastle Univ., 2007. 73 p.
47. Grimm E.C. *TGView 2.0.2 (Software)*. Ill., USA, State Mus. Springfield, 2004.
48. Chengalath R., Bruce W.J., Scruton D.A. Rotifer and crustacean plankton communities of lakes in insular Newfoundland. *Verh. Int. Ver. Limnol.*, vol. 22, no. 1, pp. 419–430.
49. Nevalainen L. Sexual reproduction in chydorid cladocerans (Anomopoda, Chydoridae) in southern Finland – implication for paleolimnology. *Doct. Diss.* Helsinki, Univ. of Helsinki, 2008. 55 p.

50. Smirnov N.N. *Istoricheskaya ekologiya presnovodnykh zoocenozov* [Historical Ecology of Freshwater Zoocenoses]. Moscow, T-vo. Nauchn. Izd. KMK, 2010. 225 p. (In Russian)
51. Sarmaja-Korjonen, K. Headshields of ehippial Chydorus piger Sars (Cladocera, Chydoridae) females from northern Finnish Lapland: a long period of gamogenesis? *Hydrobiologia*, 1999, vol. 390, nos. 1–3, pp. 11–18. doi: 10.1023/A:1003507300981.
52. Sarmaja-Korjonen, K. Multi-proxy data from Kaksoislammi Lake in Finland: Dramatic changes in the late Holocene cladoceran assemblages. *J. Paleolimnol.*, 2002, vol. 28, no. 3, pp. 287–296. doi: 10.1023/A:1021611225821.
53. Sarmaja-Korjonen K. Chydorid ehippia as indicators of past environmental changes – a new method. *Hydrobiologia*, 2004, vol. 526, no. 1, pp. 129–136. doi: 10.1023/B:HYDR.0000041595.08121.ab.
54. Mäemets A. Eesti vesikirbuliste (Cladocera) ökoloogiast ja fenoloogiast. *Hüdrobioloogilised uuri-mused*, 1961, vol. 2, pp. 108–158. (In Estonian)
55. Sandøy S., Nilssen J.P. A geographical survey of littoral crustacea in Norway and their use in paleolimnology. *Hydrobiologia*, 1986, vol. 143, no. 1, pp. 277–286. doi: 10.1007/BF00026671.
56. Frolova L. Subfossil Cladocera (Branchiopoda, Crustacea) in climatic and palaeoenvironmental investigations in Eastern Siberia (Russia). *Proc. 16th Int. Multidiscip. Sci. GeoConf. SGEM 2016*, 2016, book 4, vol. 2, pp. 601–606. doi: 10.5593/SGEM2016/B42/S19.077.
57. Sládeček V. System of water quality from the biological point of view. *Arch. Hydrobiol. Ergeb. Limnol.*, 1973. Bd. 7, pp. 1–218.
58. Frolova L., Nazarova L., Pestryakova L., Herzs Schuh U. Subfossil Cladocera from surface sediment in thermokarst lakes in northeastern Siberia, Russia, in relation to limnological and climatic variables. *J. Paleolimnol.*, 2014, vol. 52, no. 1, pp. 107–119. doi: 10.1007/s10933-014-9781-7.
59. Ibragimova A.G., Frolova L.A., Grekov I.M. Results of subfossil Cladocera (Branchiopoda, Crustacea) analyses from bottom deposits of Lake Antyukh-Lambina (Kola Peninsula, Murmansk region). *Res. J. Pharm., Biol. Chem. Sci.*, 2016, vol. 7, no. 6, pp. 3201–3206.
60. Catalan J., Barbieri M.G., Bartumeus F., Bitušik P., Botev I., Brancelj A., Cogălniceanu D., Manca M., Marchetto A., Ognjanova-Rumenova N., Pla S., Rieradevall M., Sorvari S., Štefková E., Stuchlík E., Ventura M. Ecological thresholds in European alpine lakes. *Freshwater Biol.*, 2009, vol. 54, no. 12, pp. 2494–2517. doi: 10.1111/j.1365-2427.2009.02286.x.
61. Bledzki L.A., Rybak J.I. *Freshwater Crustacean Zooplankton of Europe: Cladocera & Copepoda (Calanoida, Cyclopoida) Key to Species Identification, with Notes on Ecology, Distribution, Methods and Introduction to Data Analysis*. Springer, 2016. 936 p.
62. Buczkó K., Korponai J., Padišák J., Starratt S.W. (Eds.) *Palaolimnological Proxies as Tools of Environmental Reconstruction in Fresh Water*. Springer, 2009. 327 p.
63. Andronikova I.N. Structural and functional organization of zooplankton in lake ecosystems of different trophic levels. *Extended Abstract of Doct. Biol. Sci. Diss.* Leningrad, 1989. 39 p. (In Russian)

**Для цитирования:** Фролова Л.А., Ибрагимова А.Г., Субетто Д.А., Назарова Л.Б., Сырых Л.С. Палеоэкологические и палеоклиматические реконструкции карельского перешейка на основе изучения субфосильных Cladocera озера Медведевское (Северо-запад России) // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2018. – Т. 160, кн. 1. – С. 93–110.

**For citation:** Frolova L.A., Ibragimova A.G., Subetto D.A., Nazarova L.B., Syrykh L.S. Paleocological and paleoclimatic reconstructions for the Karelian Isthmus based on the study of subfossil cladocerans from Lake Medvedevskoe (Northwest Russia). *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennyye Nauki*, 2018, vol. 160, no. 1, pp. 93–110. (In Russian)