

РАЗВИТИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ КАРЕЛЬСКОГО ПЕРЕШЕЙКА В ГОЛОЦЕНЕ ПО ДАННЫМ ХИРОНОМИДНОГО АНАЛИЗА*

Л. С. Сырых^{1,2}, Л. Б. Назарова^{3,4}, Д. А. Субетто^{1,2},
И. М. Греков¹, П. А. Леонтьев¹, Ю. А. Кублицкий¹

¹Российский государственный педагогический университет
им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

²Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия

³Потсдамский университет, Институт Земли и экологических наук,
Потсдам, Германия

⁴Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

Аннотация. Главной целью данного исследования является реконструкция и анализ развития природно-климатических условий голоцена для Карельского перешейка. Образцы донных отложений оз. Медведевского были продатированы и проанализированы лито- и биостратиграфическими методами. Возраст осадков, по данным AMS-датирования, охватывает позднеледниковье и весь голоцен, по результатам анализа лито- и биостратиграфических данных было выделено 4 этапа развития природной среды изучаемой территории. Период 12 100–10 200 кал. л. н. характеризуется холодными климатическими условиями; это начальный этап формирования водоема, прибрежная территория заболочена, глубина водоема небольшая. Позже, в период с 10 200 по 8500 кал. л. н., происходит потепление климата и уменьшение влажности. После 3000 кал. л. н. фиксируются климатические условия, близкие к современным.

Ключевые слова: *Chironomidae*, палеолимнология, голоцен, реконструкции климата, Карельский перешеек.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие природы перигляциальных территорий на рубеже позднего плейстоцена и в голоцене является актуальной темой современной науки. Применение комплексного подхода позволяет получить детальную информацию о развитии природно-климатических условий прошлого. Все более популярным становится применение хирономид в качестве биологических индикаторов для изучения палеоклимата и окружающей среды прошлых эпох [*Chironomids (Diptera: Chironomidae) in lakes ...*, 2008; Назарова, Нургалиев, 2011; *The distribution and abundance ...*, 2011]. Хирономиды (*Chironomidae*) – это семейство водных беспозвоночных, обладающее широким ареалом распространения и богатым видовым разнообразием [Назарова, Нургалиев, 2011].

Основная цель нашего исследования состояла в реконструкции природных условий позднего плейстоцена и голоцена по данным литостратиграфического и микропалеонтологического анализов колонки донных отложений оз. Медведевского (Карельский перешеек, Ленинградская область).

Район исследования – Карельский перешеек (между 61°21' и 59°46' с. ш. и 27°42' и 31°08' в. д.) расположен на стыке Балтийского кристаллического щита и Русской платформы, что определяет неоднородность его геологического строения и большое разнообразие ландшафтов. Дегляциация Карельского перешейка происходила неравномерно: центральная часть освободилась ото льда около 13 599 калиброванных лет назад (кал. л. н.) [Субетто, 2009]. Поскольку вероятность непрерывно-

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 13-05-41457 РГО_а, № 16-35-50036 мол_нр.

го осадконакопления в озерах Центральной возвышенности Карельского перешейка на протяжении позднеледниковья и всего голоцена является наибольшей, по сравнению с более низко расположенными районами, неоднократно затопляемыми водами Балтики и Ладоги в различные этапы их развития [Субетто, 2009], изучение донных отложений этих озер имеет особенно важное значение для выявления закономерностей озерного седиментогенеза и эволюции природно-климатических обстановок региона в целом.

Объектом исследования выбрано озеро Медведевское (60,5° с. ш., 29,9° в. д.; 102,2 м над у. м.), расположенное на Центральной возвышенности Карельского перешейка. Озеро небольшое: площадь – 0,44 км², максимальная глубина – около 4 м; сточное, дренируется небольшим ручьем, входящим в водосборную систему Ладожского озера. Процесс седиментации в данном озере был непрерывным на протяжении 12 тыс. лет и характеризуется главенствующей ролью автохтонных процессов и эолового переноса вещества.

МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ

В ходе экспедиционных работ 2012 и 2014 гг. отобраны колонки донных отложений оз. Медведевского, которые были направлены на различные анализы. Глубина воды в точке пробоотбора – 2,6 м. Мощность исследованных донных отложений – 236 см. Образцы донных отложений датированы методом ускорительной масс-спектрометрии (AMS-методом), также проведен анализ потери массы при прокаливании (ППП, %) и хирономидный анализ. Обработку проб донных осадков осуществляли по стандартным методикам [Loss on ignition ... , 2004; Brooks, Birks, 2001]. Определение видов проведено по современным определителям [Wiederholm, 1983; Makarchenko, Makarchenko, 1999; Brooks, Langdon, Heiri, 2007]. Реконструкция палеоэкологических и палеоклиматических условий осуществлена на основе синтеза данных лито-, хроно- и биостратиграфии.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Донные отложения оз. Медведевского представлены позднеледниковыми серыми песками, глинами и голоценовыми темно-бурыми органо-генными илами. Потери при прокаливании (ППП) по разрезу донных отложений меняются в диапазоне от 3,5 до 90 %. На основе кластерного анализа хирономидных данных и результатов ППП (%) в колонке донных отложений было выделено четыре статистически значимые зоны.

Зона 1 соответствует горизонту 460–496 см (12 100–10 200 кал. л. н.). ППП характеризуются крайне низкими значениями (медиана – 7 %). Видовое разнообразие невелико. Доминирующие таксоны – таксоны-индикаторы холодных температур воздуха (*Sergentia coracina*-type, *Micropsectra insignilobus*-type, *Heterotrissocladius maeaeri*-type 1). Интересным представляется чередование ацидофильных (*S. coracina*-type, *H. maeaeri*-type 1) и ацидофобных (*M. insignilobus*-type) таксонов. В нижних горизонтах зоны встречается полуводный таксон *Smittia*, ассоциирующийся с эрозионными процессами в прибрежной зоне. Реконструированные температуры – от 12 до 14±1,1 °С.

Зона 2, горизонт 420–460 см (10 200–8500 кал. л. н.), характеризуется повышением видового разнообразия хирономидных сообществ. В пределах этой зоны наблюдается постепенный рост ППП (медиана 23,7 %). Доминирующее положение занимает *Corynocera ambigua*, холодноводный таксон, который встречается в озерах последнего межстадиала и раннего голоцена. В этой зоне появляется *Microtendipes pedellus*-type – индикатор

промежуточных (средних) температур в голоцене в Северной Европе [Brooks, Langdon, Heiri, 2007]. Реконструированные температуры изменяются от 12,5 до 15±1,1°C. Увеличение ППП и особенности видового состава хирономид указывают на колебания глубины водоема, что, вероятно, связано с изменениями увлажненности климата.

Зона 3, горизонт 340–420 см (8500–3000 кал. л. н.). Значения ППП максимальны (медиана – 72,7 %). В данной зоне постепенно уменьшается количество *C. ambigua*, преобладающее положение занимают *M. pedellus*-type и *Dicrotendipes nervosus*-type, отмечается наличие *Procladius*, который ассоциируется с уменьшением количества кислорода в водоеме и повышением его трофности [Brooks, Langdon, Heiri, 2007]. В конце зоны увеличивается численность холоднолюбивого таксона *Heterotanytarsus*. Реконструированные температуры изменяются от 13,7 до 15,2±1,1 °C. Продолжается процесс обмеления и зарастания озера.

Зона 4 охватывает верхний горизонт 260–340 см (после 3000 кал. л. н.). Значения ППП по-прежнему высоки (медиана – 78,8 %), но в верхних горизонтах снижаются до 42,8 %. Фауна хирономид характеризуется преобладанием теплолюбивого *D. nervosus*-type и обитателя умеренных условий ацидофильного *Psectrocladius sordidellus*-type. Реконструированные температуры варьируют от 13,2 до 14,3±1,1 °C.

Выводы

На основе комплексного анализа в развитии палеоклимата Карельского перешейка и эволюции экосистемы оз. Медведевского можно выделить 4 стадии:

12 100–10 200 кал. л. н.: климат исследуемой территории холодный. Начальный этап формирования водоема, наблюдаются процессы палюдификации, вызванные интенсивным поверхностным стоком с водосбора.

10 200–8500 кал. л. н.: происходит потепление климата, интенсивность поверхностного стока снижается, наблюдается постепенное повышение трофности водоема. Исчезновение ацидофильных таксонов указывает на смену кислой среды на нейтральные и щелочные условия, что бывает в сухие периоды.

8500–3000 кал. л. н.: практически на протяжении всего периода сохраняется теплый климат, происходит дальнейшее повышение трофности водоема. После 4000 кал. л. н. наблюдается некоторое похолодание. Период приблизительно между 9000 и 4000 кал. л. н. может быть ассоциирован с климатическим оптимумом голоцена. После 4000 кал. л. н. наступает постепенное похолодание климата.

После 3000 кал. л. н. климатические условия близки к современным. Некоторое закисление водоема может быть результатом повышения уровня воды в озере и заболачивания прибрежной территории вследствие увлажнения климата.

Результаты исследования строения донных отложений оз. Медведевского позволили получить новую информацию о развитии палеоэкологических условий Карельского перешейка, с применением первой в России статистической температурной хирономидной модели и литологического анализа. Благодаря им получена качественная и количественная реконструкция климатических условий голоцена Карельского перешейка, а также выявлена периодизация в развитии экосистемы озера и связь этапов его развития с изменениями климата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Назарова Л. Б. Методические подходы к использованию биологических индикаторов в палеоэкологии / Л. Б. Назарова, Д. К. Нурғалиев. – Казань : Казан. гос. ун-т, 2011. – 280 с.
- Субетто Д. А. Донные отложения озер: палеолимнологические реконструкции / Д. А. Субетто. – СПб. : РГПУ им. А. И. Герцена, 2009. – 309 с.
- Birks H. J. B. Quantitative palaeoenvironmental reconstructions / H. J. B. Birks // Statistical modeling of quaternary science data. Technical Guide 5. Quaternary Research Association. – Cambridge, 1995. – P. 161–254.
- Brooks S. J. Chironomid-inferred air temperatures from late-glacial and Holocene sites in north-west Europe: progress and problems / S. J. Brooks, H. J. B. Birks // Quaternary Science Reviews. – 2001. – Vol. 20. – P. 1723–1741.
- Brooks S. J. Using and identifying chironomid larvae in palaeoecology / S. J. Brooks, P. G. Langdon, O. Heiri. – QRA technical guide № 10. Quaternary Research Association. – London, 2007. – 276 p.
- Chironomids (*Diptera: Chironomidae*) in lakes of central Yakutia and their indicative potential for paleoclimatic research / L. B. Nazarova, L. A. Pestryakova, L. Ushnitskaya, H. W. Hubberten // Contemporary Problems of Ecology. – 2008. – Vol. 1. – P. 335–345.
- Makarchenko E. A. Chironomidae. Non-biting midges / E. A. Makarchenko, M. A. Makarchenko // Key to freshwater invertebrates of Russia and adjacent lands. – St. Petersburg : Zoological Institute RAS, 1999. – Vol. 4. Higher insects: Diptera. – P. 210–295, 670–857.
- Northern Russian chironomid-based modern summer temperature data set and inference models / L. Nazarova, A. Self, S. J. Brooks, M. van Hardenbroek, U. Herzschuh, B. Diekmann // Global and Planetary Change. – 2015. – Vol. 134. – P. 10–25.
- Loss on ignition: a qualitative or quantitative method for organic matter and carbonate mineral content in sediments? / J. I. Santisteban, R. Mediavilla, E. López-Pamo, C. J. Dabrio, M. B. Ruiz Zapata, M. J. Gil García, S. Castaño, P. E. Martínez-Alfaro // Journal of Paleolimnology. – 2004. – Vol. 32, Is. 3. – P. 287–299. doi:10.1023/B:JOPL.0000042999.30131.5b
- The distribution and abundance of chironomids in high-latitude Eurasian lakes with respect to temperature and continentality: development and application of new chironomid-based climate-inference models in northern Russia / A. E. Self, S. J. Brooks, H. J. B. Birks, L. Nazarova, D. Porinchu, A. Odland, H. Yang, V. J. Jones // Quaternary Science Reviews. – 2011. – Vol. 30. – P. 1122–1141.
- Wiederholm T. Chironomidae of the Holarctic region. Keys and diagnosis. Part 1. Larvae. 67 / ed. T. Wiederholm. – Entomologica Scandinavica, Suppl. 19, 1983. – 457 p.

ENVIRONMENTAL DEVELOPMENT OF THE KARELIAN ISTHMUS IN HOLOCENE ACCORDING TO THE CHIRONOMID ANALYSIS

L. S. Syrykh^{1,2}, L. B. Nazarova^{3,4}, D. A. Subetto¹, I. M. Grekov¹,
P. A. Leontiev¹, Yu. A. Kublitskii¹

¹Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg, Russia

²Northern Water Problems Institute, KarRC RAS, Petrozavodsk, Russia

³Potsdam University, Institute of Earth and Environmental Science, Potsdam, Germany

⁴Kazan Federal University, Kazan, Russia

Abstract. The Karelian Isthmus situated between the Gulf of Finland and Lake Ladoga in the Northwestern Russia. The Karelian Isthmus can be divided into three landscape units: the lowland area in the north with more than 800 lakes; the central highland, which reaches up to 203 m above sea level; and the Neva Lowland (15–25 m above sea level) in the south, which is characterized by numerous Holocene terraces. The region has a maritime climate, with mean January temperatures of -9°C, mean July temperatures of +16°C, and precipitation around 600 mm yr⁻¹. Sediments were retrieved from the Lake Medvedevskoe (102.2 m above sea level), Karelian Isthmus, and were subject to analysis. For the first time quantitative reconstruction of T July was performed, using chironomid-based inference model. The studied lake basin formed before 12 650 cal BP, possibly due to melting of stagnant glacier

ice. Although the chronology of this early part of the record is too uncertain to attribute an exact age to the beginning of mineralogenic sedimentation in the basins, it is likely that the sediments accumulated fairly rapidly. The rapid environmental response to warming at the Pleistocene/Holocene boundary, which is evident in many North Atlantic records 11 500 cal BP, is not very prominent in our two data sets from the Karelian Isthmus about 10 000 cal BP when climate became distinctly warmer and more humid. High organic productivity in the lakes indicates that soils around the lakes were stable. Strong taxonomic shift biological communities of the lake and rapid increase in LOI between 9 and 8 cal ka. BP indicate climate warming during this phase. Climate becomes cooler first after 4 cal ka BP. Time between 8 and 4 cal ka BP can be attributed to Mid Holocene maximum in Karelian Isthmus.

Keywords: Karelian Isthmus, Holocene, *Chironomidae*, palaeolimnology, climate reconstruction.

REFERENCES

- Birks H. J. B. Quantitative palaeoenvironmental reconstructions. *Statistical modeling of quaternary science data. Technical Guide 5. Quaternary Research Association*. Cambridge, 1995, pp. 161–254.
- Brooks S. J., Birks H. J. B. Chironomid-inferred air temperatures from late-glacial and Holocene sites in north-west Europe: progress and problems. *Quaternary Science Reviews*. 2001, Vol. 20, pp. 1723–1741.
- Brooks S. J., Langdon P. G., Heiri O. Using and identifying chironomid larvae in palaeoecology. *QRA Technical Guide № 10, Quaternary Research Association*. London, 2007, 276 p.
- Nazarova L. B., Nurgaliev D. K. *Metodicheskie podkhody k ispolzovaniyu biologicheskikh indikatorov v paleoekologii [Methodical approaches to the use of biological indicators in paleoecology]*. Kazan, KSU Publ., 2011, 280 p. (In Russ.)
- Nazarova L. B., Pestryakova L. A., Ushnitskaya L., Hubberten H. W. Chironomids (Diptera: Chironomidae) in lakes of central Yakutia and their indicative potential for paleoclimatic research. *Contemporary Problems of Ecology*. 2008, Vol. 1, pp. 335–345.
- Nazarova L., Self A., Brooks S. J., van Hardenbroek M., Herzschuh U., Diekmann B. Northern Russian chironomid-based modern summer temperature data set and inference models. *Global and Planetary Change*. 2015, Vol. 134, pp. 10–25.
- Makarchenko E. A., Makarchenko M. A. Chironomidae. Non-biting midges. *Key to freshwater invertebrates of Russia and adjacent lands*. St. Petersburg, 1999, Vol. 4. Higher insects: Diptera, pp. 210–295, 670–857.
- Santisteban J. I., Mediavilla R., López-Pamo E., Dabrio C. J., Ruiz Zapata M. B., Gil García M. J., Castaño S., Martínez-Alfaro P. E. Loss on ignition: a qualitative or quantitative method for organic matter and carbonate mineral content in sediments? *Journal of Paleolimnology*. 2004, Vol. 32, Is. 3, pp. 287–299. doi:10.1023/B:JOPL.0000042999.30131.5b
- Self A. E., Brooks S. J., Birks H. J. B., Nazarova L., Porinchi D., Odland A., Yang H., Jones V. J. The distribution and abundance of chironomids in high-latitude Eurasian lakes with respect to temperature and continentality: development and application of new chironomid-based climate-inference models in northern Russia. *Quaternary Science Reviews*. 2011, Vol. 30, pp. 1122–1141.
- Subetto D. A. *Donnyye otlozheniya ozer: paleolimnologicheskie rekonstruktsii [Sediments of lakes: paleolimnological reconstruction]*. St. Petersburg, Herzen University Publ., 2009, 309 p. (In Russ.)
- Wiederholm T. (ed.) *Chironomidae of the Holarctic region. Keys and diagnoses. Part 1. Larvae*. Entomologica Scandinavica, Suppl. 19, 1983, 457 p.

Сырых Людмила Сергеевна

младший научный сотрудник
Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена
191186, Россия, г. Санкт-Петербург,
Наб. р. Мойки, 48, корп. 12
e-mail: lyudmilalsd@gmail.com

Syrykh Liudmila Sergeevna

Junior Researcher
Herzen State Pedagogical University of Russia
48, b. 12, Moika River St., St. Petersburg, Russia, 191186,
e-mail: lyudmilalsd@gmail.com

Назарова Лариса Борисовна
кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник,
Институт Земли и экологических наук
Потсдамский университет
14469, Германия, г. Потсдам, Нойес Палас, 10
Казанский (Приволжский) федеральный
университет
420008, Россия, г. Казань,
ул. Кремлевская, 18 г
e-mail: nazarova_larisa@mail.ru

Субетто Дмитрий Александрович
доктор географических наук, профессор,
заведующий кафедрой физической
географии и природопользования
факультета географии
Российский государственный педагогиче-
ский университет им. А. И. Герцена
191186, Россия, г. Санкт-Петербург,
Наб. р. Мойки, 48, корп. 12;
директор Института водных проблем
Севера
Карельский научный центр РАН
185030, Россия, г. Петрозаводск,
пр. Александра Невского, 50
e-mail: subetto@mail.ru

Греков Иван Михайлович
ассистент, кафедра физической
географии и природопользования,
факультет географии
Российский государственный педагогиче-
ский университет им. А. И. Герцена
191186, Россия, Санкт-Петербург,
Наб. р. Мойки, 48, корп. 12
e-mail: ivanmihgrekov@gmail.com

Леонтьев Петр Александрович
ассистент, кафедра физической
географии и природопользования,
факультет географии
Российский государственный педагогиче-
ский университет им. А. И. Герцена
191186, Россия, Санкт-Петербург,
Наб. р. Мойки, 48, корп. 12
e-mail: barograph@yandex.ru

Кублицкий Юрий Анатольевич
ассистент, кафедра физической
географии и природопользования,
факультет географии
Российский государственный педагогиче-
ский университет им. А. И. Герцена
191186, Россия, Санкт-Петербург,
Наб. р. Мойки, 48, корп. 12
e-mail: uriy_87@mail.ru

Nazarova Larisa Borisovna
Candidate of Sciences (Biology),
Senior Researcher, Institute of Earth and En-
vironmental Science
Potsdam University
10, Noyes Palace, Potsdam, Germany, 14469
Kazan Federal University
18, Kremlevskaya st., Kazan, Russia, 420008
e-mail: nazarova_larisa@mail.ru

Subetto Dmitrii Aleksandrovich
Doctor of Sciences (Geography), Professor,
Head of Department of Physical Geography
and Environmental, Geography Faculty
Herzen State Pedagogical University of Russia
48, b. 12, Moika River St., St. Petersburg, Rus-
sia, 191186
Director of Northern Water Problems Institute
Karelian Research Centre RAS
50, Alexander Nevsky av., Petrozavodsk,
Russia, 185030
e-mail: subetto@mail.ru

Grekov Ivan Mikhailovich
Assistant, Department of Physical Geography
and Environmental, Geography Faculty
Herzen State Pedagogical University of Russia
48, b. 12, Moika River St., St. Petersburg,
Russia, 191186
e-mail: ivanmihgrekov@gmail.com

Leontiev Petr Aleksandrovich
Assistant, Department of Physical Geography
and Environmental, Geography Faculty
Herzen State Pedagogical University of Russia
48, b. 12, Moika River St., St. Petersburg, Rus-
sia, 191186
e-mail: barograph@yandex.ru

Kublitskii Yurii Anatolievich
Assistant, Department of Physical Geography
and Environmental, Geography Faculty
Herzen State Pedagogical University of Russia
48, b. 12, Moika River St., St. Petersburg, Rus-
sia, 191186
e-mail: uriy_87@mail.ru