

# Middle Pleistocene history of vegetation in the Lotus Lake basin in the extreme south of the Russian Far East

Short communication

LIMNOLOGY  
FRESHWATER  
BIOLOGY

Belyanin P.S.\*, Belyanina N.I.

The Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Radio Str., 7, Vladivostok, 690041, Russia

**ABSTRACT.** The evolution of vegetation in the Lotus Lake basin in the Middle Pleistocene has been studied. Six phases of paleovegetation evolution based on palynological data have been identified. It has been established that in warm epochs correlating with MIS 11, 9 and 7 in the Lotus Lake Basin were dominated by broad-leaved and coniferous forests with a diverse species composition. Under cooling in MIS 10, the distribution of coniferous-small-leaved forests with the participation of shrubby birch increased. In MIS 8 and 6, the main type of vegetation was represented by coniferous-small-leaved forests with the dominance of pine, birch, spruce and the participation of elm and oak.

**Keywords:** Tumen River, Paleolake, lacustrine sediments, vegetation changes, spore-pollen analysis

**For citation:** Belyanin P.S., Belyanina N.I.† Middle Pleistocene history of vegetation in the Lotus Lake basin in the extreme south of the Russian Far East // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - P. 268-273. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-268

## 1. Introduction

Features of the evolution of the natural environment of the Middle Pleistocene are one of the most interesting and little-studied pages in Quaternary history. The most complete records of the evolution of paleovegetation are reflected in the pollen spectra of lake sediments, which have a very limited distribution in the south of the Russian Far East. Their thickest sediments are present in sections of the Khanka Depression and in shelf of Peter the Great Bay. Significant thicknesses of lacustrine sediments were also revealed by drilling while studying the geological structure of Quaternary sediments in the mouth of the Tumannaya River. This made it possible to reconstruct the evolution of vegetation in the south of the Russian Far East in the Middle Pleistocene (MIS 11-6).

## 2. Materials and methods

### 2.1. Study area

Modern Lake Lotus is a small freshwater lake in the extreme south of the Russian Far East. It is located at the mouth of the Tumannaya River (at 42°25' N; 130°39' E) at the distance of 9 km to the west of the coast of Peter the Great Bay (the Sea of Japan). The water surface area of Lake Lotus is about 12.3 km<sup>2</sup>, its depth does not exceed 2.0 m, and the water surface of the lake is located at a height of about 2 m above the

sea level. The lake is surrounded from the north, the west, and the east by the low hills with swampy small valleys. In the south, the lake is framed by a low riverbed swell, up to 2 m high, behind which an accumulative plain of the Tumannaya River, is located.

The Lake Lotus Basin is located in the contact zone with the Manchurian and North China floristic provinces (Komarov, 1908). Its swampy shores are covered with reed grass, forbs, sedge meadows and grass mires. The water surface of the lake is partially covered with thickets of *Nelumbo komarovii*. Sparse broadleaf forests of *Quercus dentata* and *Quercus mongolica*, with minor contributions of *Fraxinus rhynchophylla*, *Tilia amurensis* and *Tilia taquetii*, and also thickets with dominated by *Lespedeza*, *Corylus* and *Rhododendron* dominate the slopes of the lake basin (Chubar, 2000).

### 2.2. Drilling and sampling

Borehole 26, 86.6 m deep, was drilled by a drilling rig on the western shore of Lotus Lake. The samples of the sediments were taken from the borehole at the intervals of 5–10 cm. Sampling and the lithological description of drill cores were carried out by B.I. Pavlyutkin (Far Eastern Geological Institute FEB RAS), and a palynological analysis was carried out by L.P. Karaulova (Primorgeology) and N.I. Belyanina (Pacific Geographical Institute of FEB RAS).

\*Corresponding author.

E-mail address: [pavelbels@yandex.ru](mailto:pavelbels@yandex.ru) (P.S. Belyanin)

Received: May 15, 2024; Accepted: July 02, 2024;

Available online: August 26, 2024

© Author(s) 2024. This work is distributed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.



### 2.3. Palynological analysis

Fossil pollen particles were extracted from the sediments using standard methods, which included treatment with 10% KOH, separation of minerals with a solution of KJ and CdJ<sub>2</sub> (2.2 g/cm<sup>3</sup>), after which the samples mounted in glycerol jelly (Pokrovskaya, 1950). Pollen and spores in glycerol jelly were identified, photographed and counted using an optical microscope Axio Scope.A1 and camera AxioCam ICc1 (Carl Zeiss). Proportion of each pollen taxon was calculated in percent of the pollen sum arboreal taxa, dwarf shrubs and herbs. Proportion of plant groups (trees and shrubs – AP, herbs, grass, and dwarf shrubs – NAP, spores – SP) was calculated in percent of the total amount of microfossils. At least 250 pollen grains of arboreal, dwarf shrubs, and herb were counted in each sample. Identifications of pollen grains were made with the aid of pollen atlases (Nakamura, 1980).

## 3. Results and discussion

### 3.1. The lithology features of sediments

A significant amount of drilling work made it possible to establish that under the layer of the Upper Pleistocene-Holocene estuarine sediments a stratum of greenish-gray thin-layered fine-sandy-silty rocks was exposed. The layering character is clearly seasonal: microlayers consist of two elements – fine sandy and silty. The micro rhythm thickness does not exceed 1–2 mm. At the base they are underlain by weakly rounded pebbles, crushed stones and porphyries, cemented by sandy loam. They are overlapped by the layers of the Late Pleistocene sediments of alluvial-marine genesis and the Holocene sediments – sands, sandy loams, and loams.

### 3.2. Pollen analysis

Pollen data indicate that the main elements of vegetation in the Lotus Lake Basin in MIS 11, 9 and 7 were diverse broad-leaved and coniferous forests. Among coniferous plants, representatives of the subgenera *Haploxylon* and *Diploxylon*, and also the genus *Picea*, predominated. Representatives of the North China and Manchurian floristic provinces, such as *Castanea*, *Celtis*, *Magnolia*, *Tsuga*, *Quercus*, *Ulmus*, *Tilia*, *Juglans*, *Phellodendron*, *Carpinus*, and also Cupressaceae, were present among the broad-leaved trees. Currently, the ranges of many of them cover the warm-temperate and subtropical regions of the Korean Peninsula (Lee, 1980), as well as the islands of Honshu, Kyushu and Shikoku (Ohwi, 1965). It is worth noting that the genus *Carpinus* south of 40° N in Korea and northeast China includes 7 species (Chang and Jeon, 2018), the genus *Quercus* has 11 species (Chang, 2007), and the genus *Pinus* has 6 species (Farjon, 2010). In the south of the Russian Far East, only *Quercus mongolica*, *Quercus dentata*, *Pinus koraiensis* and *Pinus densiflora* are found (Chubar, 2001).

Similar global climatic fluctuations, which caused the restructuring of vegetation in the Middle

Pleistocene, are also noted for more northern regions of Russia. Thus, in Chukotka, in MIS 11, 9 and 7, there were repeated changes of herbaceous-birch shrub tundra with herbaceous or herbaceous-alder-birch tundra (Lozhkin et al., 2007). At the same time, in the lower reaches of the Irtysh, the average annual temperature was 8–10 ° higher than the current one, and the northern border of broad-leaved and needle-leaved forests and the steppe shifted to the north by 1 000–1 300 km (Volkova, 2008).

Coniferous-small-leaved forests with a predominance of *Betula* sect. *Nanae*, *Betula* sp., *Duschekia*, *Picea*, *Pinus* subgen. *Haploxylon* and *Pinus* subgen. *Diploxylon*, *Ulmus* and *Quercus* were widespread in the Lake Basin Lotus under the colder climatic conditions during the MIS 10. *Duschekia*, *Picea* and *Pinus* subgen. *Haploxylon* were the main components of the slopes vegetation during the MIS 8. *Sphagnum* mires with *Betula* sect. *Nanae* were dominated in the coastal plains of the Sea of Japan. Under a later cooling, comparable to MIS 6, fir-pine-birch forests with the participation of *Quercus* and *Ulmus* spread. Vegetation similar in composition is reflected in the palynospectrum from the modern soil, which we studied at the foot of the Baitoushan volcano (42° 03' N; 128° 03' E), at an altitude of about 600 m. This indicates significant spatial migrations of plants during climatic fluctuations in the Middle Pleistocene in the south of the Far East.

## 4. Conclusions

The paleobotanical data obtained allowed us to reconstruct vegetation development in the Lotus Lake Basin during the Middle Pleistocene (MIS 11–6). It has been found out that in the warm epochs, correlated with MIS 11, 9, and 7, diverse broad-leaved and needle-leaved forests dominated in the Lotus Lake Basin. During periods of cooling, the Lake Lotus Basin were widespread by coniferous/small-leaved forests with the participation of shrub species of birch and alder (MIS 10) and coniferous/small-leaved forests consisted of pine, birch, and spruce with the participation of elm and oak (MIS 8 and 6).

## Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

## References

- Chang C.S. 2007. *Fagaceae*. In: Park C.W. (Ed.), The genera of vascular plants of Korea. Seoul, South Korea: Academy Publishing Co, pp. 268–274.
- Chang C.S., Jeon J.I. 2018. *Betulaceae*. In The Genera of Vascular Plants of Korea (Korean ver.). Seoul: Flora of Korea Editorial Committee (ed.), Hongrung Publishing Co, pp. 364–376.
- Chubar E.A. 2000. Specific of Nature in Lower Reaches of the Tumannaya River and Adjacent Sea Water Area. In: Kas'yanov V.L. et al. (Eds.), The state of environment and biota of the southwestern part of Peter the Great Bay and the Tumannaya River Mouth. Vol. 2. Vladivostok, pp. 15–41. (in Russian)

Farjon A. 2010. A Handbook of the World's Conifers (two vols.). The Netherlands: Brill Leiden, Academic Publishers.

Komarov V.L. 1908. Introduction to the floras of China and Mongolia. In: Works of the Imperial St. Petersburg Botanical Garden XXIX(1) Tipo-Litografiya. Gerol'd, Saint-Petersburg, pp. 1–176. (in Russian)

Lee T.B. 1980. Illustrated flora of Korea. Seoul: Hyangmunsa.

Lozhkin A.V., Anderson P.M., Matrosova T.V. et al. 2007. A continuous record of environmental change in Chukotka during the last 350 thousand years. *Tikhookeanskaya Geologiya* 26(6): 53–59. DOI: [10.1134/S1819714007060048](https://doi.org/10.1134/S1819714007060048) (in Russian)

Nakamura J. 1980. Diagnostic characters of pollen grains of Japan, Part I. Special Publications from the Osaka Museum of Natural History, Osaka, Japan 13: 1–91.

Ohwi J. 1965. Flora of Japan. Washington: Switsonian Institute.

Pokrovskaya I.M. 1950. Pollen analysis. Moscow: Gosgeolizdat. (in Russian)

Volkova V.S. 2008. Landscapes and climate of Interglacial and Interstage epochs of the Pleistocene of western Siberia. In: Prishchepa O.M., Subetto D.A., Dzyuba O.F. (Eds.), *Palynology: Stratigraphy and Geoecology*. Saint-Petersburg, pp. 88–91. (in Russian)

# История растительности бассейна озера Лотос на крайнем юге Дальнего Востока России в среднем плейстоцене

Краткое сообщение

LIMNOLOGY  
FRESHWATER  
BIOLOGY

Белянин П.С.\* , Белянина Н.И.

Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения Российской академии наук, ул. Радио, 7, Владивосток, 690041, Россия

**АННОТАЦИЯ.** Изучена эволюция растительности в бассейне озера Лотос в среднем плейстоцене. По палинологическим данным выделено шесть фаз эволюции палеорастительности. Установлено, что в теплые эпохи, коррелирующие с МИС 11, 9 и 7, в бассейне оз. Лотос преобладали широколиственные и хвойные леса с разнообразным видовым составом. При похолодании в МИС 10 увеличивалось распространение хвойно-мелколиственных лесов с участием кустарниковой березки. В МИС 8 и 6 основной облик растительности представляли хвойно-мелколиственные леса с доминированием сосен, берез, ели и участием вяза и дуба.

**Ключевые слова:** река Туманная, палеозеро, озерные отложения, смены растительности, спорово-пыльцевой анализ

Для цитирования: Белянин П.С., Белянина Н.И.† История растительности бассейна озера Лотос на крайнем юге Дальнего Востока России в среднем плейстоцене // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - С. 268-273. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-268

## 1. Введение

Особенности развития природной среды среднего звена плейстоцена являются одними из самых интересных и малоизученных страниц в четвертичной истории. Наиболее полные летописи эволюции палеорастительности отражены в пыльцевых спектрах озерных отложений, имеющих весьма ограниченное распространение на юге Дальнего Востока России. Наибольшие по мощности их осадки присутствуют в разрезах Приханкайской впадины и в отложениях шельфа залива Петра Великого. В ходе изучения геологического строения четвертичных отложений в приустьевой части р. Туманной, бурением были вскрыты значительные по мощности толщи озерных осадков, что позволило реконструировать эволюцию растительности на юге Дальнего Востока России в среднем плейстоцене (МИС 11-6).

## 2. Материалы и методы

### 2.1. Объект исследования

Современное озеро Лотос – небольшое пресноводное озеро, расположенное на крайнем юге Дальнего Востока России, в устье реки Туманной (42°25' с. ш., 130°39' в. д.), в 9 км к западу от залива

Петра Великого (Японское море). Площадь водной поверхности озера составляет около 12.3 км<sup>2</sup>, а его глубина не превышает 2.0 м. Водная поверхность озера лежит на высоте около 2 м над уровнем моря. С севера, запада и востока озеро окружено невысокими холмами с заболоченными небольшими долинами. С юга оно обрамлено валом высотой около 2 м, за которым начинается аккумулятивная равнина реки Туманной.

Бассейн оз. Лотос расположен в зоне контакта Маньчжурской и Северо-Китайской флористических провинций (Комаров, 1908). Его заболоченные берега покрывают вейниково-разнотравные, осоковые луга и травяные болота. Водная поверхность частично покрыта зарослями *Nelumbo komarovii*. На склонах водосборного бассейна преобладают редкостойные широколиственные леса из *Quercus dentata* и *Quercus mongolica*, с участием *Fraxinus rhynchophylla*, *Tilia amurensis* и *Tilia taquetii* и кустарниковых зарослей из *Lespedeza*, *Corylus* и *Rhododendron* (Чубарь, 2000).

### 2.2. Бурение и отбор проб

Скважина 26 глубиной 86.6 м была пробурена на западном побережье оз. Лотос. Образцы отло-

\*Автор для переписки.

Адрес e-mail: [pavelbels@yandex.ru](mailto:pavelbels@yandex.ru) (П.С. Белянин)

Поступила: 15 мая 2024; Принята: 02 июля 2024;

Опубликована online: 26 августа 2024

© Автор(ы) 2024. Эта работа распространяется под международной лицензией Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0.



жений отбирались с интервалом 5-10 см. Отбор проб и литологическое описание кернов выполнены Б.И. Павлюткиным (Дальневосточный геологический институт ДВО РАН), а палинологический анализ – Л.П. Карауловой (Приморгеология) и Н.И. Беляниной (Тихоокеанский институт географии ДВО РАН).

### 2.3. Палинологический анализ

Образцы из разрезов отбирались с интервалом 5–10 см. Спорово-пыльцевой анализ проведен по стандартной методике, включающей обработку 10% КОН, отделение минералов раствором KJ и CdJ<sub>2</sub> (2,2 г/см<sup>3</sup>), после чего образцы помещали в глицериновое желе (Покровская, 1950). Пыльцу и споры идентифицировали и подсчитывали с помощью оптического микроскопа Axio Scope A1 при увеличении × 400. Доля каждого таксона пыльцы рассчитывалась в процентах от суммы пыльцы деревьев, кустарников, трав и кустарничков. Доли групп растений (деревья и кустарники – AP, травы, злаки и карликовые кустарники – NAP, споры – SP) рассчитывали в процентах от общего количества микрофоссилий. В каждой пробе подсчитывали не менее 250 пыльцевых зерен древесных и кустарниковых растений. Идентификацию пыльцевых зерен проводили с помощью пыльцевых атласов (Покровская, 1950; Nakamura, 1980).

## 3. Результаты и обсуждение

### 3.1. Литологические особенности отложений

Бурение показало, что под слоем верхнеплейстоцен-голоценовых эстуарных отложений обнажается пачка зеленовато-серых тонкослоистых мелкопесчано-алевритовых пород. Характер слоистости носит ярко выраженный сезонный характер: микрослои состоят из двух элементов – мелкопесчаного и алевритового. Мощность микрослоев не превышает 1–2 мм. В основании они подстилаются слабоокатанной галькой, щебнем и порфиритами, сцементированными супесью. Их перекрывают слои позднеплейстоценовых отложений аллювиально-морского генезиса и голоценовых отложений – песков, супесей и суглинков.

### 3.2. Результаты палинологического анализа

Палинологические данные свидетельствуют, что основными элементами растительности в бассейне оз. Лотос в МИС 11, 9 и 7 были разнообразные по составу широколиственные и хвойные леса. Среди хвойных деревьев преобладали представители подродов *Haploxyton* и *Diploxyton*, а также рода *Picea*. Среди широколиственных пород присутствовали растения Северо-Китайской и Маньчжурской флористических провинций, такие, как представи-

тели родов *Castanea*, *Celtis*, *Magnolia*, *Tsuga*, *Quercus*, *Ulmus*, *Tilia*, *Juglans*, *Phellodendron*, *Carpinus*, а также Cupressaceae. В настоящее время, ареалы многих из которых охватывают теплоумеренные и субтропические области Корейского п-ова (Lee, 1980), а также о-вов Хонсю, Кюсю и Сикоку (Ohwi, 1965). Стоит отметить, что сейчас южнее 40 °с. ш. в Корее и на северо-востоке Китая род *Carpinus* насчитывает 7 видов (Chang and Jeon, 2018), рода *Quercus* 11 видов (Chang, 2007), а род *Pinus* – 6 видов (Farjon, 2010). Из них на юге Дальнего Востока встречается только *Quercus mongolica*, *Quercus dentata*, *Pinus koraiensis* и *Pinus densiflora* (Чубарь, 2000).

Значительные климатические колебания, вызвавшие перестройку растительности в среднем плейстоцене, отмечены и для более северных регионов Дальнего Востока. Так, на Чукотке в МИС 11, 9 и 7 происходили неоднократные смены травянисто-березовых кустарниковых тундр травянистыми или травянисто-ольхово-березовыми тундрами (Ложкин и др., 2007). В это же время в Западной Сибири, в низовьях Иртыша среднегодовая температура была на 8–10 ° выше современной, а северная граница широколиственных и игольчатых лесов и степей сместилась к северу на 1000–1300 км (Волкова, 2008).

В более холодном климате в МИС 10 широкое распространение в бассейне оз. Лотос получали хвойно-мелколиственные леса с преобладанием *Betula* sect. *Nanae*, *Betula* sp., *Duschekia*, *Picea*, *Pinus* subgen. *Haploxyton* и *Pinus* subgen. *Diploxyton*, *Ulmus* и *Quercus*. В МИС 8, основными компонентами растительности склонов были *Duschekia*, *Picea* и *Pinus* subgen. *Haploxyton* растительности. На прибрежных равнинах Японского моря преобладали сфагновые болота с *Betula* sect. *Nanae*. В МИС 6, в растительности доминировали пихтово-сосново-березовые леса с участием *Quercus* и *Ulmus*. Сходная по составу растительность выделена из субфоссильного палиноспектра, отобранного на абсолютной высоте 600 м у подножия вулкана Байтоушань в бассейне р. Туманной (42 °03' с. ш., 128 °03' в. д.). Это указывает на значительные пространственные миграции растений при климатических колебаниях в среднем плейстоцене на юге Дальнего Востока.

## 4. Заключение

Полученные палеоботанические данные позволили реконструировать развитие растительности в бассейне озера Лотос в среднем плейстоцене (МИС 11-6). В теплые эпохи, коррелирующие с МИС 11, 9 и 7, в бассейне озера Лотос преобладали разнообразные широколиственные и хвойнолиственные леса. В периоды похолоданий в бассейне озера Лотос преобладали хвойно-мелколиственные леса с участием кустарниковых пород березы и ольхи (МИС 10), а хвойно-мелколиственные леса состояли из сосны, березы и ели с участием из вяза и дуба (МИС 8 и 6).

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Список литературы

Волкова В.С. 2008. Ландшафты и климат межледниковой и межстадиальной эпох плейстоцена Западной Сибири. В: Прищепа О.М., Субетто Д.А., Дзюба О.Ф. (Ред.), Палинология: Стратиграфия и геоэкология. Санкт-Петербург, с. 88–91.

Комаров В.Л. 1908. Введение в флору Китая и Монголии. Труды Императорского Санкт-Петербургского ботанического сада XXIX(1) Типолитография Герольд, Санкт-Петербург: 1–176.

Ложкин А.В., Андерсон П.М., Магросова Т.В. и др. 2007. Непрерывная запись изменений окружающей среды на Чукотке за последние 350 тыс. лет. Тихоокеанская геология 26(6): 53–59. DOI: [10.1134/S1819714007060048](https://doi.org/10.1134/S1819714007060048)

Покровская И.М. 1950. Пыльцевой анализ. Москва: Госгеолгиздат.

Чубарь Е.А. 2000. Природные особенности района р. Туманной в нижнем течении и сопредельной территории. В: Касьянов В.Л. и др. (Ред.), Состояние окружающей среды и биоты юго-западной части залива Петра Великого и устья реки Туманной. Том 2. Владивосток, с. 15–41

Chang C.S. 2007. *Fagaceae*. In: Park C.W. (Ed.), The genera of vascular plants of Korea. Seoul, South Korea: Academy Publishing Co, P. 268–274.

Chang C.S., Jeon J.I. 2018. *Betulaceae*. In The Genera of Vascular Plants of Korea (Korean ver.). Seoul: Flora of Korea Editorial Committee (ed.), Hongrung Publishing Co, P. 364–376.

Farjon A. 2010. A Handbook of the World's Conifers (two vols.). The Netherlands: Brill Leiden, Academic Publishers.

Lee T.B. 1980. Illustrated flora of Korea. Seoul: Hyangmunsa.

Nakamura J. 1980. Diagnostic characters of pollen grains of Japan, Part I. Special Publications from the Osaka Museum of Natural History, Osaka, Japan 13: 1–91.

Ohwi J. 1965. Flora of Japan. Washington: Switsonian Institute.