УДК 561:551.791(571.63) DOI: 10.35735/9785605278788_387

СРЕДНЕПЛЕЙСТОЦЕНОВАЯ ИСТОРИЯ ОЗЕРА ЛОТОС В НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ РЕКИ ТУМАННОЙ

П.С. Белянин [1], Н.И. Белянина [1†], Ю.А. Микишин [2]
[1]Тихоокеанский институт географии ДВО РАН
[2]Геологический институт ДВО РАН

Аннотация. В статье приводятся данные диатомового анализа озерных отложений, вскрытых серией скважин в нижнем течении реки Туманная (крайний юг Дальнего Востока России). Полученные результаты позволили реконструировать эволюцию озера Палеолотос в среднем плейстоцене. Его эволюция была более сложной, чем развитие сопредельных озер на побережье залива Петра Великого (Японское море). Установлено, что озеро Палеолотос возникло в начале среднего плейстоцена, в МИС 11 и сильно обмелело в МИС 6. Длительное время (МИС 11–8) оно представляло пресноводный олиготрофный водоем глубиной не менее 20 м с прозрачными водами, бедными органическим веществом. Озеро занимало большую часть современной аккумулятивной равнины на левом берегу реки Туманная, достигая наибольшего диаметра 10–12 км. В периоды MIS 7–6 озеро Палеолотос обмелело. Оно превратилось в мелководный водоем эвтрофного типа с мутными водами, насыщенными органическими веществами. Его глубина, не превышала 1–3 м

Ключевые слова: *средний плейстоцен, морские изотопные стадии, палеоозеро Лотос, озерные отложения, диатомовый анализ*

MIDDLE PLEISTOCENE HISTORY OF LOTUS LAKE IN THE LOWER REACHES OF THE TUMEN RIVER

Belyanin P.S. [1], Belyanina N.I.[1†], Mikishin Yu. A.[2]
[1]The Pacific Geographical Institute of the FEB RAS
[2]Geological Institute of the FEB RAS

Abstract. The article presents the results of diatom analysis of lake sediments uncovered by a series of boreholes in the lower reaches of the Tumen River (the southernmost of the south of the Russian Far East). The obtained results allowed us to reconstruct the evolution of Lake Paleolotus during the Middle Pleistocene. Its evolution was more complicated than the development of the adjacent lakes in the coast of Peter the Great Bay (the Sea of Japan). The Middle Pleistocene lacustrine sediments accumulated in the downstream of the Tumen River (the most southwestern area of Primorye, Russia Far East) were studied using diatom analysis. We found that the Lake Paleolotus arose during MIS 11. It became very shallow and its area decreased during MIS 6. For a long time (from MIS 11 to MIS 8), it was a freshwater oligotrophic basin with a depth of at least 20 m, with clear waters and poor organic matter content. The lake occupied most of the modern accumulative plain on the left bank of the Tumen River, reaching a size of at least 10–12 km across. During MIS 7–6 Lake Paleolotus turned into a shallow-water basin (its depth most likely did not exceed 1–3 m) of a eutrophic type with turbid waters rich in organic matter.

Keywords: *Middle Pleistocene, Lotus Paleolake, lacustrine sediments, vegetation changes, spore-pollen analysis*

Введение. Эволюция озер среднего плейстоцена (MIS 11–6) является наиболее интересной и малоизученной страницей в четвертичном периоде. Палеоботанические исследования по различным регионам показали, что озерные отложения являются одним из наиболее информативных источников палеоэкологической информации (например, [5, 11]). В пыльцевых летописях донных отложений озер хранятся подробные записи, которые

фиксируют естественную эволюцию экосистем не только самого озера и его водосборного бассейна, но и сопредельных территорий. Они обеспечивают непрерывную регистрацию изменений в структуре диатомовых и пыльцевых записей. Несмотря на то, что палеоботанические данные, полученные из разных скважин, дополняют друг друга, озерные отложения, при палеогеографической интерпретации, дают более надежное представление об эволюции прибрежных озер.

Озерные отложения среднего плейстоцена имеют весьма ограниченное распространение на юге Дальнего Востока России. Наиболее мощные их толщи присутствуют в отложениях шельфа залива Петра Великого [6, 10] и в Приханкайской впадине [3, 4, 7]. Позднее, в ходе значительного объема буровых работ, проведенных Гидрогеологической экспедицией Приморгеологии было установлено, что аккумулятивная равнина в устье реки Туманная сложена мощными толщами озерных осадков [8]. В данной статье на основе диатомовых летописей, полученных при исследовании озерных и аллювиально-лагунных отложений, реконструируется эволюция озера Палеолотос.

Материалы и методы. Современное оз. 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 его водного зеркала составляет около 12,3 км^2, а 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 балками. С юга оно обрамлено валом высотой около 2 м, за которым простирается аккумулятивная равнина р. Туманной.

Бурение и отбор проб

Скважины 26, 28 и 31 были пробурены в нижнем течении р. Туманной, в 12 км от побережья Японского моря. Отбор проб с интервалом 5–10 см и литологическое описание кернов выполнены Б.И. Павлюткиным (Дальневосточный геологический институт ДВО РАН), а диатомовый анализ Ю.А. Микишиным (ДВГИ ДВО РАН).

Диатомовый анализ

Изучен 61 образец отложений из скважин 26, 28 и 31. Образцы диатомовых водорослей были подготовлены по стандартным методикам [1, 2, 9]. Видовой состав диатомовых водорослей определялся в постоянных препаратах с использованием микроскопа Axioscop при увеличении × 1200. В каждом препарате подсчитывалось более 250–300 диатомей. Их идентификация проводилась согласно [1, 2, 9, 13, 14, 15]. Процентное содержание рассчитывалось от общего числа таксонов. Диатомеи были классифицированы по их местообитанию, солености, pH и биогеографии. Распределение доминирующих и субдоминантных видов использовалось для выведения диатомовых комплексов. Результаты диатомового анализа представлены в виде диаграмм с использованием программного обеспечения Tilia v. 2–0–41 [10]. Возрастное подразделение плейстоцена дано в соответствии с морскими изотопными стадиями (MIS) [16].

Результаты и обсуждение.

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 (рис. 1). 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.

Рис. 1. Фотография горизонтальных микрослоев пылевато-пелитовых суглинков. Образец с глубины 71,8 м, скв. 26. 1 – слои пылевато-пелитовых суглинков мощностью менее 1 мм.

По изменению таксономического состава диатомей изученные отложения четко подразделяются на два слоя.

Результаты диатомового анализа.

Нижний комплекс диатомовых (интервал 76,2–47,4 м от поверхности).

Среди диатомовых водорослей преобладают пресноводные планктонные виды. Это *Aulacosira alpigena, Aulacosira granulata, Stephanodiscus niagarae* var. *insuetus.* Реже отмечаются *Aulacosira distans, Discostellastelligera, Fragilaria rumpens.* Некоторые из обнаруженных видов рода Aulacoseira в настоящее время вымерли. Из эпифитных диатомовых водорослей встречаются *Pinnularia borealis, Pinnularia viridis, Pinnularia borealis, Fragilaria rumpens, Stauroneis acuta, Synedra balthica, Gyrosigma acuminatum* var. *gallicum, Gyrosigma kuetzingii, Epithemia gibba, Encyonema ventricosum, Navicula cryptocephala,* and *Luticola mutica* встречаются чаще других.

Большинство видов являются типично пресноводными — индифферентами. В небольшом количестве встречаются мезогалобные диатомовые, представленные в основном *Diploneis smithii.* Встречаются обитатели болот — виды *Pinnularia viridis* и *Eunotia.* По отношению к pH преобладающее число створок относится к алкалофильным диатомовым, а по географическому положению — к бореальным и северо-бореальным видам (численность последних превышает 50%).

По принадлежности к сапробным группам преобладают створки ксеносапробных (26–51%) и олигосапробных (20–45%) диатомовых водорослей, обитающих в чистых водах с небольшим количеством органического вещества. Осадки палеоозера были бедны органическим веществом (содержание $C_{орг.}$ в среднем 0,68%) и биогенным кальцием ($CaCO_3$ – 0,08–1,08%).

Процент северных и североальпийских видов, которые массово встречаются в холодных пресных водоемах высоких широт и горных районов, составляет 28–53%. Однако они преобладают только в пробах с глубин 58,0 и 57,8 м. Это связано с интенсивным развитием холодноводных диатомовых водорослей *Aulacoseira alpigena, Pinnularia nodosa, Stauroneis smithii* var. *karelica, Stauroneis phoenicenteron* и *Tetracyclus emarginatus.* На глубине 54,8 м также обнаружена типичная для озера Байкал диатомовая водоросль *Gomphonema brasiliense.*

Экологически сходный комплекс диатомовых водорослей выявлен в скважине 28 на глубине 56,0–29,2 м, а также в скважине 31 на глубине 62,0–26,0 м. Он характеризуется пресноводными видами, с небольшой долей галофитов, мезогалобиальных и единичных морских диатомовых водорослей. Преобладают эпифитные формы, планктонных видов немного.

Верхний комплекс диатомовых водорослей (интервал 47,4–33,2 м от поверхности)

Характеризуется значительным снижением доли планктонных диатомовых водорослей, среди которых по-прежнему высока доля *Aulacosira granulata* (3,8–11,8%) и *Stephanodiscus*

niagarae var. *insuetus* (0,6–4,8%). В диатомовом комплексе преобладают эпифитные диатомовые водоросли – 64,0–88,0%. Среди них доминируют *Encyonema ventricosum* (0,6–18,6%), *Epithemia sorex* (0,0–18,7%), *Epithemia sorex* var. *gracilis* (0,0–16,0%), *Epithemia turgida* var. *granulata* (0,0–18,2%), *Epithemia adnata* 5,0–17,1%. Они отмечаются значительно чаще, чем в нижнем слое щитков реофитных диатомовых водорослей, обитающих исключительно в проточных водах: *Hannaea arcus* и *Meridion circulare.* Это свидетельствует о близости устья реки или протоки, соединяющей палеоозеро с рекой. По отношению к pH доминируют алкалофильные диатомовые водоросли, а географически – космополитные и бореальные виды.

Большинство видов, обнаруженных в осадках, являются типичными пресноводными индифферентными видами, согласно классификации Кольбе с дополнениями (Глезер, Макарова, 1992). Олигогалобы, обычно обитающие в пресной воде, но достигающие наибольшего развития при солености 0,4–0,5‰, составляют 0,4–7,3% от числа всех створок диатомовых водорослей.

Исключение составляет образец с глубины 33,9 м. Содержание галофилов в нем увеличивается за счет развития некоторых видов рода *Epithemia.* Олигогалобы, обитатели слабоминерализованных вод (до 0,02‰), не достигают высокого развития. Их доля обычно не превышает 1,5–2,0% от общего числа створок диатомовых водорослей. Мезогалобы, солоноватоводные виды, отмечены лишь в очень небольших количествах (0,8–2,3% створок диатомовых водорослей) на глубинах 54,8, 58,0 и 58,8 м.

Большинство идентифицированных таксонов диатомовых водорослей по отношению к pH являются алкалофилами, предпочитающими щелочную реакцию воды (pH>7). Их доля составляет 81–92% от всех диатомовых водорослей. К алкалофилам относятся следующие виды: *Aulacosira alpigena, Stephanodiscus niagarae* var. *insuetus, Epithemia sorex et* var. *gracilis, Epithemia turgida* var. *granulata, Epithemia adnata,* которые в большом количестве встречаются в осадках. Индиференты, развивающиеся при значениях pH, близких к нейтральным, встречаются реже и занимают второе место по числу створок диатомовых водорослей – от 3 до 12%, достигая 38% на глубине 47,4 м. Ацидофилы, обитатели кислых болотных вод (pH<7), встречаются редко. По географическому распространению в большинстве проб доминируют диатомеи-космополиты, обитатели пресных водоемов всех природных зон Земли (51–78%).

Доля бореальных диатомей, характерных для умеренных широт, составляет 10–20%. Они доминируют только на глубине 33,9 м. Доля северных и северо-альпийских видов, массово встречающихся в холодных пресных водоемах высоких широт и горных районов, составляет 2–14%.

Похожую экологию отражает комплекс диатомовых водорослей из скважины 28 в интервале глубин 29,0–28,45 м. Доминируют эпифитные роды *Epithemia, Cymbella, Gomphonema;* из полупланктонных – *Ulnaria ulna,* из планктонных – *Stephanodiscus niagarae* и представители рода *Aulacosira.*

Среднеплейстоценовая эволюция озера Палеолотос/

Отложения, вскрытые серией скважин в устье реки Туманная, имеют черты, характерные для озерных осадков умеренных широт – хорошую сортировку материала, тонкую горизонтальную слоистость и характерные для них литологические признаки. Озерный генезис отложений подчеркивается литологическими особенностями осадков: переслаиванием горизонтально-слоистых супесей и зеленовато-серых суглинков, с толщиной слоя менее 1 мм (см. рис. 1). Суглинки имеют алеврито-пелитовый состав, с преобладанием частиц размером <0,1 мм. Они настолько специфичны, что легко идентифицируются во всех скважинах: в скв. 26 на глубине 76,2–33,2 м, в скв. 28 на глубине 56,0–29,2 м и скв. 31 на глубине 62,0–26,0 м.

Диатомовые комплексы, полученные из нижних слоев скважин 26, 28 и 31 (рис. 4), свидетельствуют о накоплении этих осадков в глубоком пресноводном озере, с чистой и холодной водой, имеющей нейтрально-слабощелочную реакцию pH 7,0–7,8 [1].

Озеро Палеолотос, представлявшее олиготрофный пресноводный водоем, было более обширным, чем в настоящее время. По-видимому, его акватория охватывала южную часть

современной аккумулятивной равнины в устье реки Туманная и простиралась до поселка Хасан и далее, до современного положения морского побережья. Кровля нижнего слоя в близлежащих скважинах свидетельствует о том, что глубина палеоозера составляла не менее 20 м. Возможно, что найденные единичные мезогалобные створки диатомовых водорослей были занесены ветром, птицами или рыбами, идущими на нерест.

Диатомовый комплекс, полученный из верхних слоев в скважинах 26 и 28, свидетельствует о накоплении этих осадков в мелководном эвтрофном озере с заболоченными берегами. Об этом свидетельствует преобладание бетамезосапробных диатомей – обитателей вод с большим количеством органических веществ. Озеро Палеолотос, скорее всего, соединялось через протоку с рекой Туманная, но соленая вода по системе река-русло в него не проникала. Напротив, в образце, полученном с глубины 33,9 м скв. 26, содержание пресноводных диатомей составляет 58,3%, а морские и солоноватоводные диатомеи не обнаружены. Тем не менее, осадки из скв. 31 на глубине 26,0–23,0 м представляют собой аллювиальные и лагунные отложения. Их седиментация происходила в дельте или эстуарии реки Туманная в условиях периодического воздействия морских вод. Вероятно, они проникали в придонные слои пресной воды во время приливов.

Выводы.

Полученные палеоботанические и литологические данные свидетельствуют о том, что в среднем плейстоцене (МИС 11–6) на побережье залива Петра Великого наряду с мелководными озерами существовали и глубокие озера олиготрофного типа. Таким в МИС 11–8 было озеро Палеолотос. В МИС 7–6 озеро обмелело, превратившись в эвтрофный водоем, занимавший большую часть современной аккумулятивной равнины в устье реки Туманной. Его акватория простиралась на юг, до села Хасан, а на восток, скорее всего, достигала останцового массива Голубиный Утес, расположенного во настоящее время на побережье Японского моря.

Литература

1. Глесер С.И., Жузе А.П., Макарова И.В., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова, Порецкая В.С., 1974. Диатомовые водоросли СССР. Ископаемые и современные. Л., Наука, Т. 1, 403 с.

2. Глесер С.И., Макарова И.В., 1992. В кн.: Глесер С.И., Макарова И.В. (Ред.), Диатомовые водоросли СССР. Ископаемые и современные. Л., Наука, Т. II., Вып. 2. с. 1–125.

3. Короткий А.М., Гребенникова Т.А., Караулова Л.П., Белянина Н.И., 2007. Озерные трансгрессии в позднекайнозойской Уссури-Ханкайской впадине (Приморье). // Тихоокеанская геология 26(4), с. 53–56.

4. Короткий А.М., 2002. Палинологическая характеристика и радиоуглеродные данные позднечетвертичных отложений Дальнего Востока России (нижняя долина Амура, Приморье, о. Сахалин, Курильские острова). В кн.: Андерсон, П.М., Ложкин, А.В. (ред.), Позднечетвертичная растительность и климат Сибири и Дальнего Востока России (база данных палинологических и радиоуглеродных данных). СВНЦ ДВО РАН, Магадан.

5. Ложкин А.В., Андерсон П.М., Матросова Т.В., Минюк П.С., Бригхем-Гретте Дж., Меллес М. 2007. Непрерывная летопись изменений природной среды Чукотки за последние 350 тысяч лет // Тихоокеанская геология. 26(6), с. 53–59.

6. Мечетин А.В., Рязанцев А.А., Гвоздева И.Г., Белянина Н.И., Оковитая Н.А. 1983. Стратиграфия среднеплейстоценовых отложений шельфа Южного Приморья // Палеогеографический анализ и стратиграфия антропогена Дальнего Востока. ДВНЦ АН СССР, с. 133–143.

7. Муратова М.В., Алешинская З.В., Болиховская Н.С., Воскресенская Т.Н., Шумова Г.М., 1978. Изменения в природе Приханкайской равнины в позднем плейстоцене // Палеогеография плейстоцена Дальнего Востока и его морей. Владивосток: Редакционно-издательский отдел ДВНЦ АН СССР, с. 81–89.

8. Павлюткин Б.И., Белянина Н.И., 2002. Четвертичные отложения Приморья: некоторые итоги систематизации и перспективы дальнейших исследований. // Тихоокеанская геология 21(3), 80–93.

9. Прошкина-Лавренко А.И. (ред.), 1950. Диатомовый анализ. Госгеолиздат, Ленинград. Прошкина-Лавренко, А.И., 1974. Диатомовые водоросли современных морей и озер. В кн.: Диатомовые водоросли СССР. Современные и ископаемые. Ленинградское отделение «Наука», Ленинград, с. 274–351.

10. Хершберг Л.Б., Рязанцев А.А., Михайлик Е.В., Чудаев О.В., 2010. Разработка стратиграфической базы для геологической съемки масштаба 1:200 000 шельфовых участков дальневосточных морей России. // Тихоокеанская геология 29(6), с. 90–106.

11. Bezrukova E., Tarasov P., Solovieva N., Krivonogov S., Riedel F. 2010. Last glacial–interglacial vegetation and environmental dynamics in southern Siberia: Chronology, forcing and feedbacks. // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 296, pp. 185–198.

12. Grimm E., 2004. Tilia software 2.0.2. Springfield: Illinois State Museum Research and Collection Center.

13. Krammer, K., Lange-Bertalot, H., 1986. Bacillariophyceae. Sübwasserflora von Mitteleuropa. Naviculaceae, Sübwasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart: Gustav Fisher Verlag, Vol. 2, No 1, pp. 1–876.

14. Krammer K., Lange-Bertalot H., 1988. Teil 2. Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. VEB Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, pp. 1–576.

15. Krammer K, Lange-Bertalot H. 1991 Süwasserflora von Mitteleuropa. Bacillariophyceae, Band 2/4, 4. Teil: Achnanthaceae. Kritische Erganzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema Gesamtliteraturverzeichnis. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 436 pp

16. Lisiecki L.E., Raymo M.E. 2005. A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic ^{18}O records // Paleoceanography. Vol. 20. – P. 1–17.