

New data on the Pleistocene history of the Aral Sea-Lake



Panin A.V.^{1*}, Ludikova A.V.², Sapelko T.V.², Uspenskaya O.N.³,
Borisova O.K.¹, Zagorulko V.A.¹, Utkina A.O.¹

¹Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Staromonetny Lane 29, 119017 Moscow, Russia

²Institute of Limnology, Russian Academy of Sciences, SPC RAS, Sevastyanova str. 9, St. Petersburg, 196105, Russia

³All-Russian Research Institute of Vegetable Growing, Vereya vill., str. 500, Ramensky district, Moscow Oblast, 140153, Russia

ABSTRACT. A 23.5 m deep borehole was drilled on the dried bed of the Aral Sea 9 km south of the former Barsakelmes Island. At a depth of 21.3 m, the borehole penetrated Paleogene bedrock. In the interval 21.3 - 15.2 m the conditions of a shallow freshwater reservoir at a considerable distance from the flowing rivers (deltaic channels of the Syr Darya River) - the first phase of filling of the Aral Basin with river water - were reconstructed. It has been preliminary attributed by three 14C AMS dates to the time about 23-25 thousand years BP. Above 15.2 m of the section the conditions become even more shallow, starting from 12.0 m of the section - brackish-water. The upper 10.5 m of the section correlates with the sediments of the modern geological phase of the Aral Sea development studied in detail in the same area by Burr et al. (2019), the beginning of which was estimated at 17.6 thousand BP. The new data obtained indicate an earlier appearance of the modern Aral Sea, which originated as a shallow freshwater body.

Keywords: bioanalysis, diatoms, spore-pollen analysis, non-pollen palynomorphs, radiocarbon dating

For citation: Panin A.V., Ludikova A.V., Sapelko T.V., Uspenskaya O.N., Borisova O.K., Zagorulko V.A., Utkina A.O. New data on the Pleistocene history of the Aral Sea-Lake // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - P. 568-573. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-568

1. Introduction

The history of the Aral Sea at the end of the Quaternary period is recorded in marine (lacustrine) terraces, the heights and ages of which are still debated (Kes, 1991; Cretaux et al., 2013), and in bottom deposits, which as late as the last quarter of the 20th century could be studied only to a shallow depth using soil tubes (Maev et al., 1983). The drying up of the central part of the Aral Sea, which was completed by the end of the 2000s, opened up the possibility of drilling on the drained bottom, which allowed researchers to reconstruct the history of the sea for most of the Holocene (Krivonogov et al., 2010; Gus'kov et al., 2011; Boomer, 2012). The most complete section of lacustrine deposits was penetrated by borehole B-05-2009 at 29 m asl, 7 km south of the former island of Barsakelmes (Burr et al., 2019). The total thickness of the lacustrine deposits was 10.7 m, with the beginning of their accumulation estimated at 17.6 kcal BP. Below this were deposits called brown clays and diagnosed as non-lacustrine ('brown

non-lacustrine clays, a substratum'). The interval 10.7 - 14.9 m (borehole bottom) was not analysed or dated. This work answered the question of the age of the modern phase of the Aral Sea, but since the borehole did not reach bedrock, it remains unknown whether lacustrine deposits are present below the section.

2. Methods and Results

We attempted to determine whether there is evidence in the bottom deposits of earlier phases of the Aral Sea's development in the Late Pleistocene. For this purpose, in September 2023, borehole 23902 with a depth of 23.5 m was drilled 9 km south of the central part of Barsakelmes Island at the coordinates 45.52941°N, 59.90009°E. Drilling was carried out by Pride Mount 80 machine on the base of UAZ 3310 flatbed truck with 80 mm augers with continuous and complete core recovery. There were four main units in the section obtained.

Unit 1, 0 - 10.5 m: greenish-grey loam, carbonate, in some places with single layers of fine sand from

*Corresponding author.

E-mail address: a.v.panin@igras.ru (A.V. Panin)

Received: June 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.



the first millimetres to 3 cm thick. In the upper metre and below 6.5 m there were brownish tinged areas. Below 7.7 m, powdery and crystalline gypsum efflorescence was present.

Unit 2, 10.5 - 15.2 m: thin interlacing of loams and siltstones with fine sands, with layers of sandy loam and fine sands 20 to 70 cm thick. Colour brownish grey, light brown between 11.4 and 14 m.

Unit 3, 15.2 - 21.3 m clay loam, massive, compact, non-carbonate, grey, blackish in parts due to manganese, in the interval 16.2 - 18.3 m with reddish tint. In the interval 16.5 - 18.5 m there were abundant gypsum crystals in some places, in the interval 20.0 - 20.5 there were clay-carbonate concretions.

Unit 4, 21.3 - 23.5 m (bottom): greenish-bluish loam (aquamarine), with clay-carbonate concretions at 22.0-22.5 m, below 22.5 m - bluish grey, rich in angular concretions of pyrite (FeS) and marcasite (FeS₂).

Unit 4 contained highly mineralised pollen grains of ancient gymnosperms (Pinaceae/Podocarpaceae) and abundant remains of dinoflagellates, which, in combination with other features, allows us to attribute it to bedrock (marine Paleogene). In the upper 5-6 m, the section closely mirrored that of borehole B-05-2009 (Burr et al., 2019), but deeper our section was less sandy. In contrast, no brown clays were encountered at 10.7 m depth (as elsewhere below); below 10.5 m the section acquired brown tones indicative of well-aerated conditions, but became more sandy. Assuming that our layer 1 corresponds to the well-studied lacustrine deposits of well B-05-2009 (upper 10.7 m), we focused our efforts on studying layers 2 and 3. A number of analyses were performed on samples from these layers: granulometry, loss-on-ignition, biological remains, diatom, spore-pollen and non-pollen palynomorphs (NPPs).

In Unit 3 the composition of biological remains >0.25 mm was poor - single fragments of vegetative parts of higher plants. At depth 21.0 m (base of the Unit), parts of mouth apparatus of midge flies' larvae (Chironomidae) were found. Dinoflagellate cysts (especially abundant at the bottom of the layer; obviously a product of erosion of underlying bedrock), spicules of sponges, fungal spores, cocoons of turbellaria (ciliated worms, predominantly freshwater), eggs of rotifers (representatives of freshwater zooplankton), small fragments of arthropods, green algae *Botryococcus braunii* were found within the NPP. The abundance of pollen grains was highly variable. Pollen of herbaceous species prevailed, dominated in some places by Cyperaceae and Polygonaceae, in some places by Poaceae, Chenopodiaceae and Caryophyllaceae. Pollen of *Artemisia*, *Ephedra*, Fabaceae, Brassicaceae, Rosaceae, etc. was also recorded. At the top of the layer pollen of aquatic plants Nymphaeaceae appeared. Among trees pollen of Pinaceae prevailed. Pollen of *Betula*, *Salix* was also recorded. Among spore plants *Sphagnum* and Lycopodiaceae were found. Pollen of Poaceae and Chenopodiaceae prevailed among grass pollen. Pollen of Apiaceae, Polygonaceae, Cyperaceae, etc. was present in small quantities.

Throughout Unit 2, parts of vegetative organs of higher plants, especially *Typha*, freshwater Chara algae (singularly in the upper part of the layer, abundantly in the lower part), as well as ostracods and cladocera, were found in the composition of bioresidues >0.25 mm. The upper part of the unit contains rare valves of marine, brackish-marine and brackish-water littoral diatoms (*Diploneis bombus*, *D. didyma*, *Tryblionella compressa*, etc.). The diatom concentration is very low. At a depth of 12.0 m, diatom abundance notably increases. Brackish *T. compressa* and brackish-marine *D. didyma* typical of the Late Holocene and recent sediments of the Aral Sea, predominate in the diatom assemblage. The proportion of planktonic diatoms did not exceed 6%. They include brackish-marine and brackish *Chaetoceros* spp. and *Cyclotella choctawhatcheeana*, characteristic planktonic diatoms of the Aral Sea. No diatoms were found in samples below 12 m, including layer 3. Pollen composition was absolutely dominated by pollen of Chenopodiaceae and *Artemisia*. Pollen of Caryophyllaceae, Poaceae, Cyperaceae, Brassicaceae, Rubiaceae, etc. was also present. Pollen of aquatic plants was also represented by Nymphaeaceae. Among tree pollens, only Pinaceae pollen is recorded. Among non-pollen palynomorphs the content of microfungal remains slightly decreased. The number of fungal spores remained low. Green algae *Botryococcus braunii* and phytoliths were recorded sporadically.

3. Discussion and conclusions

It can be concluded that Units 2 and 3 were formed in conditions of a shallow water body, first freshwater, and in the upper half of layer 2 (starting from a depth of 12.0 m) - brackish-water. During the formation of Unit 3, the water body was somewhat deeper and the deltaic channels of River Syr-Darya were at a considerable distance. During the formation of Unit 2, shallow-marshy conditions periodically appeared, including in the upper half of the layer - shallow brackish-water environment. Unit 3 reflects the initial stage of filling of the Aral Basin with river water. The timing of this event can be judged from three 14C (AMS) total organic carbon (TOC) dates, cal BP: 22870 ± 140 (15.3 m depth), 24870 ± 130 (16.15 m) and 23580 ± 150 (21.0 m). Thus, the beginning of fresh water inflow into the Aral Basin and the first freshwater phase of the modern Aral Sea development in relation to it can be attributed to the time of 23-25 thousand years BP. However, taking into account that the dates were obtained using insufficiently reliable material (TOC, Corg content in sediment 0.4-0.5%), this age estimate should be considered preliminary. A more reliable estimate will be made later, taking into account the forthcoming results of OSL dating.

Acknowledgements

Field work, lithological analyses, and dating were carried out at the expense of the Russian Science Foundation (RSF) project 22-17-00259. Palynological

and diatom analyses were carried out within the framework of the state task of the Institute of Limnology RAS № FFZF-2024-0002 (A.V.Ludikova, T.V.Sapelko).

Conflict of interest

Authors declare no conflict of interest.

References

Boomer I. 2012. Ostracoda as indicators of climatic and human-influenced changes in the late quaternary of the ponto-caspian region (aral, caspian and black seas). In: Horne, D.J., Holmes, J., Rodriguez-Lazaro, J., Viehberg, F.A. (Eds.), *Ostracoda as Proxies for Quaternary Climate Change*. Elsevier Science, Amsterdam, pp. 205-215.

Burr G.S., Krivonogov S.K., Gusskov S.A. et al. 2019. A history of the modern Aral Sea (Central Asia) since the Late Pleistocene. *Quaternary Science Reviews*. 206: 141–149.

Cretaux J.-F., Letolle R., Berge-Nguyen M. 2013. History of Aral Sea level variability and current scientific debates. *Glob. Planet. Change* 110: 99-113.

Gus'kov S.A., Zhakov E.Y., Kuzmin Y.V. et al. 2011. New data on evolution of the Aral Sea and its relations with the West Siberian Plain through the Holocene. *Dokl. Earth Sci.* 437: 460-463.

Kes' A.S. 1991. Natural history of the Aral Sea and its surroundings. *Izvestiya Russ. Acad. Sci. Seria Geogr.* 4: 36-46. (in Russian)

Krivonogov S.K., Kuzmin Y.V., Burr G.S. et al. 2010. Environmental changes of the Aral Sea (central Asia) in the Holocene: major trends. *Radiocarbon* 52: 555-568.

Maev E.G., Maeva S.A., Nikolaev S.D. et al. 1983. Section of bottom sediments of the central part of the Aral Sea. *Paleogeografia Kaspiiskogo i Aralskogo Morei v Kainozoe. Part 2*. MSU, Moscow. pp. 119-133. (in Russian)

Новые данные о плейстоценовой истории Аральского моря-озера

Краткое сообщение

LIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGYПанин А.В.^{1*}, Лудикова А.В.², Сапелко Т.В.², Успенская О.Н.³,
Борисова О.К.¹, Загорюлько В.А.¹, Уткина А.О.¹¹ Институт географии Российской академии наук. Россия, 119017, Москва, Старомонетный переулок, дом 29, стр. 4.² Институт озероведения Российской академии наук – СПб ФИЦ РАН. Россия, 196105, Санкт-Петербург, ул. Севастьянова, дом 9³ Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства — филиал ФГБНУ ФНЦО. Россия, 140153, Московская обл., Раменский район, д. Верея, стр. 500

АННОТАЦИЯ. Пробурена скважина глубиной 23.5 м на осушенном дне Аральского моря в 9 км к югу от бывшего острова Барсакельмес. На глубине 21.3 м скважина вскрыла коренные породы палеогена. В интервале 21.3 – 15.2 м реконструированы обстановки мелководного пресного водоема на значительном удалении от впадающих рек (дельтовые протоки р. Сырдарьи) – первая фаза заполнения Аральской котловины речными водами. Она предварительно отнесена по трем 14С AMS датам ко времени около 23-25 тыс.л.н. Выше 15.2 м разреза обстановки становятся еще более мелководными, начиная с 12.0 м разреза – солоноватоводными. Верхние 10.5 м разреза коррелируются с детально изученными в том же районе Burr et al. (2019) отложениями современной геологической фазы развития Арала, начало которой оценено в 17.6 тыс.л.н. Полученные данные указывают на более раннее появление современного Арала, зародившегося как мелководный пресный водоем.

Ключевые слова: биоанализ, диатомовые, спорово-пыльцевой анализ, непыльцевые палиноморфы, радиоуглеродное датирование

Для цитирования: Панин А.В., Лудикова А.В., Сапелко Т.В., Успенская О.Н., Борисова О.К., Загорюлько В.А., Уткина А.О. Новые данные о плейстоценовой истории Аральского моря-озера // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - С. 568-573. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-568

1. Введение

История Аральского моря в конце четвертичного периода «записана» в морских (озерных) террасах, уровни и возраст которых до сих пор дискутируются (Кесь, 1991; Cretaux et al., 2013), и в донных отложениях, которые еще в последней четверти XX в. было возможно изучать лишь на небольшую глубину с помощью грунтовых трубок (Маев и др., 1983). Пересыхание центральной части Арала, завершившееся к концу 2000-х гг, открыло перед исследователями возможность бурения на осушенном дне, что позволило реконструировать историю моря в объеме большей части голоцена (Krivonogov et al., 2010; Гуськов и др., 2011; Boomer, 2012). Наиболее полный разрез озерных отложений был вскрыт скважиной В-05-2009 на уровне 29 м БС в 7 км к югу от бывшего о. Барсакельмес (Burr et al., 2019). Общая мощность озерных отло-

жений составила 10.7 м, начало их накопления оценено в 17.6 тыс. кал.л.н. Ниже залежали отложения, названные коричневыми глинами и диагностированные как неозерные («brown non-lacustrine clays, a substratum»). Интервал 10.7 - 14.9 м (забой скважины) не анализировался и не датировался. Данная работа ответила на вопрос о возрасте современной фазы развития Арала, но поскольку скважина не дошла до коренных пород, осталось неизвестным, присутствуют озерные/морские отложения ли ниже по разрезу.

2. Методы и результаты

Мы попытались установить, имеются ли в разрезе донных отложений Арала свидетельства более ранних фаз его развития Арала в позднем плейстоцене. С этой целью в сентябре 2023 г в 9 км к югу от центральной части о. Барсакельмес в точке с коор-

*Автор для переписки.

Адрес e-mail: a.v.panin@igras.ru (А.В. Панин)

Поступила: 15 июня 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.



динатами 45.52941°с.ш., 59.90009°в.д. была пробурена скважина 23902 глубиной 23.5 м. Бурение производилось станком Pride Mount 80 на базе бортового автомобиля УАЗ 3310 шнеками диаметром 80 мм с непрерывным и полным извлечением керна. В полученном разрезе выделено 4 основных слоя.

Слой 1, 0 – 10.5 м: суглинок зеленовато-серый, карбонатный, местами с единичными слоями тонкого песка толщиной от первых миллиметров до 3 см. В верхнем метре и ниже 6.5 м – участки с коричневатым оттенком. Ниже 7.7 м присутствуют порошкообразные и кристаллические выделения гипса.

Слой 2, 10.5 – 15.2 м: тонкое переслаивание суглинков и алевроитов с тонкими песками, присутствуют слои супесей и тонких песков толщиной от 20 до 70 см. Цвет коричневатый-серый, в интервале 11.4 – 14 м – светло-коричневый.

Слой 3, 15.2 – 21.3 м суглинок тяжелый, некарбонатный, плотный, серый, участками черноватый за счет омарганцевания, в интервале 16.2 – 18.3 м с рыжеватым оттенком. В интервале 16.5 – 18.5 м местами обильные кристаллы гипса, в интервале 20.0 – 20.5 присутствуют глинисто-карбонатные конкреции.

Слой 4, 21.3 – 23.5 м (забой): суглинок зеленовато-голубоватый (аквамарин), с глинисто-карбонатными конкрециями на 22.0-22.5 м, ниже 22.5 м – голубовато-серый, насыщенный угловатыми конкрециями пирита (FeS) и марказита (FeS₂).

Слой 4 содержал сильно минерализованные пыльцевые зерна древних голосеменных (Pinaceae/Rodocarpaceae), а также обильные остатки динофлагеллят, что в совокупности с другими признаками позволяет отнести его к коренным породам (морской палеоген). В верхних 5-6 м разрез близко повторял разрез скважины В-05-2009 (Burr et al., 2019), однако глубже наш разрез был менее песчаным. Напротив, на глубине 10.7 м (как и где-либо ниже) не было встречено коричневых глин, ниже 10.5 м разрез приобрел коричневые тона, свидетельствующие об условиях хорошей аэрации, но стал более песчаным. Предполагая, что наш слой 1 соответствует хорошо изученным озерно-морским отложениям скважины В-05-2009 (верхние 10.7 м), мы сосредоточили усилия на изучении слоев 2 и 3. По образцам из этих слоев был выполнен ряд анализов: литологический (гранулометрия, потери при прокаливании), биоостатков, диатомовый, спорово-пыльцевой и непыльцевых палиноморф (НПП).

В слое 3 состав биоостатков >0.25 мм очень беден – единичные фрагменты вегетативных частей высших растений. В основании слоя на глубине 21.0 м встречены части ротового аппарата комаров (Chironomidae). В составе НПП встречены цисты динофлагеллят (особенно обильные в низах слоя; очевидно, продукт размыва нижележащих коренных пород), спиккулы губок, споры грибов, коконы турбеллярии (ресничные черви, преимущественно пресноводные), яйца коловраток (представители пресноводного зоопланктона), мелкие фрагменты членистоногих, зеленые водоросли *Botryococcus*

braunii. Концентрация пыльцевых зерен крайне изменчивая. Преобладает пыльца травянистых растений, среди которой доминируют местами Cyperaceae и Polygonaceae, местами Poaceae, Chenopodiaceae и Caryophyllaceae. Также отмечена пыльца *Artemisia*, *Ephedra*, Fabaceae, Brassicaceae, Rosaceae и др. В верхах слоя появляется пыльца водных растений Nymphaeaceae. Среди пыльцы древесных преобладает пыльца Pinaceae. Отмечена также пыльца *Betula*, *Salix*. Среди споровых растений отмечены *Sphagnum* и Lycoperidiaceae. Среди пыльцы трав преобладает пыльца Poaceae и Chenopodiaceae. В небольших количествах присутствует пыльца Apiaceae, Polygonaceae, Cyperaceae и др.

По всему слою 2 в составе биоостатков >0.25 мм встречены части вегетативных органов высших растений, особенно рогоза (*Typha*), пресноводных харовых водорослей (в верхней части слоя единично, в нижней – обильно), а также остракоды, кладоцеры. В верхней части слоя отмечены редкие створки морских, солоноватоводно-морских и солоноватоводных литоральных диатомей (*Diploneis bombus*, *D. didyma*, *Tryblionella compressa* и др.). Концентрация створок крайне низкая. На глубине 12.0 м содержание диатомей заметно возрастает. Доминируют солоноватоводная *T. compressa* и солоноватоводно-морской *D. didyma*, характерные для позднего-лоценовых и современных отложений Аральского моря. Доля планктонных диатомей не превышает 6%. Они представлены солоноватоводно-морскими и солоноватоводными *Chaetoceros* spp. и *Cyclotella choctawhatcheeana*, характерными для диатомового планктона Аральского моря. В образцах ниже 12 м, в том числе в слое 3, диатомеи обнаружены не были. В составе пыльцы абсолютно доминирует пыльца маревых и полыней. Встречается пыльца Caryophyllaceae, Poaceae, Cyperaceae, Brassicaceae, Rubiaceae и др. Пыльца водных растений все так же представлена Nymphaeaceae. Среди пыльцы древесных отмечается только пыльца Pinaceae. Среди непыльцевых палиноморф немного снижается содержание остатков микрофауны. Количество спор грибов остается невысоким. Единично отмечены зеленые водоросли *Botryococcus braunii* и фитоциты.

3. Обсуждение и выводы

Можно заключить, что слои 2 и 3 формировались в условиях мелководного водоема, сначала пресноводного, а в верхней половине слоя 2 (начиная с глубины 12.0 м) – солоноватоводного. При формировании слоя 3 водоем был несколько глубже и дельтовые рукава Сырдарьи были на значительном удалении, при формировании слоя 2 периодически возникали мелководно-болотные обстановки, в том числе в верхней половине слоя – морское солоноватоводное мелководье. Слой 3 отражает начальную стадию наполнения Аральской котловины речными водами. О времени этого события можно судить по трем полученным ¹⁴C (AMS) датам по общему органическому углероду (TOC), cal BP: 22870 ± 140 (глубина 15.3 м), 24870 ± 130 (16.15 м) и 23580 ± 150

(21.0 м). Таким образом, начало поступления пресных вод в Аральскую котловину и связанную с ним первую пресноводную фазу развития современного Аральского моря можно относить ко времени 23-25 тыс.л.н. Однако, учитывая, что даты получены по ненадежному материалу (ТОС, содержание C_{org} в осадке 0.4-0.5%) эту оценку возраста следует считать предварительной. Более надежная оценка будет сделана позднее с учетом ожидаемых результатов ОСЛ-датирования.

Благодарности

Полевые работы, литологические анализы, датирование выполнены за счет средств Российского научного фонда, проект РНФ 22-17-00259. Палинологический и диатомовый анализы выполнены в рамках темы госзадания Института озероведения РАН № FFZF-2024-0002 (А.В.Лудикова, Т.В.Сапелко).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

Гуськов С. А., Жаков Е. Ю., Кузьмин Я. В. и др. 2011. Новые данные по истории Аральского моря и его связи с Западно-Сибирской равниной в голоцене. Доклады Академии наук 437 (6): 789–792.

Кесь А.С. 1991. Естественная история Аральского моря и Приаралья. Известия РАН. Сер. геогр. 4: 36-46.

Маев Е.Г., Маева С.А., Николаев С.Д. и др. 1983. Разрез донных отложений центральной части Аральского моря. Палеогеография Каспийского и Аральского морей в кайнозое. Ч. 2. Москва: МГУ, с. 119-133.

Boomer I. 2012. Ostracoda as indicators of climatic and human-influenced changes in the late quaternary of the pon-to-caspian region (aral, caspian and black seas). In: Horne, D.J., Holmes, J., Rodriguez-Lazaro, J., Viehberg, F.A. (Eds.), Ostracoda as Proxies for Quaternary Climate Change. Elsevier Science, Amsterdam, pp. 205-215.

Burr G.S., Krivonogov S.K., Gusskov S.A. et al. 2019. A history of the modern Aral Sea (Central Asia) since the Late Pleistocene. Quaternary Science Reviews 206: 141–149.

Cretaux J.-F., Letolle R., Berge-Nguyen M. 2013. History of Aral Sea level variability and current scientific debates. Glob. Planet. Change 110: 99-113.

Krivonogov S.K., Kuzmin Y.V., Burr G.S. et al. 2010. Environmental changes of the Aral Sea (central Asia) in the Holocene: major trends. Radiocarbon 52: 555-568.