

Paleogeographic conditions of the Donuzlav Lake formation in the Holocene (Northwestern Crimea)



Erokhova M.S.^{1,*}, Kulkova M.A.¹, Markova M.A.¹, Streltsov M.A.¹,
Kuznetsov D.D.², Kochubey O.V.³, Kashuba M.T.⁴

¹ Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg, 191186 Russia

² Institute of Limnology, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, 196105 Russia

³ VNIGRI, 192019 Russia

⁴ Institute of History of Material Culture, Russian Academy of Sciences, 191186 Russia

ABSTRACT. The article is devoted to the reconstruction of paleoclimatic conditions in the Holocene and the influence of anthropogenic factors according to the study of bottom sediments of Lake Donuzlav (Northwestern Crimea). For this purpose, methods of geochemical, granulometric, and spore-pollen analyses of the lake sediments were used. The sediment was sampled using a Russian drill. X-ray spectral fluorescence analysis and calcination loss analysis were conducted to determine the chemical composition of the deposits. The correlation of the paleoclimatic data of sedimentation of lake sediments with the conditions of formation of the cultural layer at the settlement of the late Bronze Age Donuzlav 10 allowed us to establish the living conditions of people. The beginning of sediment formation in the lake Donuzlav belongs to the subboreal period. Changes in the water level in the lake are associated with changes in the climatic factors, mainly changes in climate humidity. At the end of the Subboreal period and the beginning of the Atlantic period, an increase in anthropogenic impact on the watershed is noted. During the same time, late Bronze Age settlements with livestock enclosures developed. Aridization of the climate at the end of the subboreal period led to a decrease in the water level in the lake and an increase in the salinity of the lake.

Keywords: bottom lake sediments, reconstruction of the paleoclimate in the Holocene, geochemical indicators, spore-pollen analysis, salt lakes, late Bronze Age, Northwestern Crimea

For citation: Erokhova M.S., Kulkova M.A., Markova M.A., Streltsov M.A., Kuznetsov D.D., Kochubey O.V., Kashuba M.T. Paleogeographic conditions of the Donuzlav Lake formation in the Holocene (Northwestern Crimea) // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - P. 328-333. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-328

1. Introduction

The lakes of the Crimean Peninsula have always attracted the attention of researchers both scientifically and economically and already in the 20-30s of the twentieth century the beginning of research on salt lakes was laid (Kurnakov et al., 1936). The first data in the field of reconstruction of the isolation conditions of lakes in the western part of Crimea were presented relatively recently. The bottom sediments of Lake Saksy and Lake Jarylgach have been studied by comprehensive studies (Subetto et al., 2023).

Lake Donuzlav is the second largest and deepest lake in Northwestern Crimea, located between the Tarkhankut Peninsula in the northwest and the

Yevpatoria Plateau in the southeast and belongs to the Tarkhankut group of mineral lakes. Basing on the values of the metamorphosis coefficient for brine Donuzlav lake can be attributed to a typical marine-type lake, which separated from the sea about 4.5 thousand years ago (Kurnakov et al., 1936). The study of lake sediments and the reconstruction of sedimentogenesis conditions of lake bottom sediments is an important task not only to establish the dynamics of climatic processes in the Holocene and obtain new data on the assessment of anthropogenic influence, but also for the investigation of the vital activity of ancient communities in this region which is of cultural and historical value for the Crimean Peninsula.

*Corresponding author.

E-mail address: slenderina135@gmail.com (M.S. Erokhova)

Received: June 09, 2024; **Accepted:** June 28, 2024;

Available online: August 26, 2024

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



2. Materials and methods

The sampling of sediments for geochemical, granulometric and spore-pollen analysis was carried out in the open part of the lake from a floating stable platform using a Russian drill by employees of the Institute of Lake Science of the Russian Academy of Sciences (D.D. Kuznetsov, T.V. Sapelko). GPS coordinates of sampling points: 45.47618°N, 33.25336°E. The lithology of deposits in the core is presented as follows: at a depth of 2.03-2.19 m - gray homogeneous gyttja clay; 2.19-2.23 m - black homogeneous gyttja clay; 2.23-2.74 m - black homogeneous clay gyttja with large fragments of plant macrostages; 2.74-2.87 m - dark gray dense weakly layered clay siltstone.

From the sampled core 40 sediment samples were selected for each 2-3 cm. For geochemical analysis, the samples were dried at $T = 105^{\circ}\text{C}$, ground in a jasper mortar to a powder state and pressed into a tablet on a boric acid substrate. The analysis was carried out using an X-ray fluorescence wave dispersion spectrometer "Spectroscan MAX-GV". Concentrations of 32 rock-forming oxides and trace elements were determined. The following geochemical indicators demonstrating changes in sedimentogenesis conditions were calculated: $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ (Gerrard, 1984), Rb/Sr , $\text{CIA} = \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ (Nesbitt and Young, 1982), SiO_2 biogenic (Keller, 1963), CaO/MgO , P_2O_5 anthropogenic (Kulkova, 2012). Losses on ignition (LOI) at 550°C and 950°C were determined, showing the content of organic and carbonate-sulfate components.

To establish the granulometric composition, the samples were prepared and analyzed using the LASKA-TD laser particle analyzer using a standard technique (Kuvshinova and Sardaeva, 2016).

The spore-pollen analysis of bottom sediments was performed by O.V. Kochubey, an employee of the VNIGRI Laboratory of Palynological research according to the standard methodology (Grychuk and Zaklanskaya, 1948).

To reconstruct the paleogeographic conditions at the archaeological site of the Late Bronze Age Donuzla-10, sediment samples were taken from the section of the pit wall at the settlement located on the shore of the lake Donuzlav. Geographical coordinates of the central part of the settlement are $45^{\circ}26.762'\text{N}$, $33^{\circ}14.856'\text{E}$. Deposits are presented from top to bottom: 0-7 cm - turf layer; 7-14 cm - deposits of dense brown sandy loam; 14-35 cm light brown loam; 35-40 cm - carbonate crushed stone. Geochemical and granulometric analyses of sediments were used to reconstruct the paleoclimate. Radiocarbon determination of the age of the cultural layer deposits at a height of 14-35 cm was carried out using extracts of humic acids from soils in the radiocarbon laboratory of the A.I. Herzen Russian State Pedagogical University using a traditional radiometric technique using a scintillation counter "Quantulus-1220".

3. Results and discussion

Two palinozones were detected during the spore-pollen analysis. Palinozone 1 (depth 2.77-2.85 m) is characterized by a predominance of pollen from herbaceous plants, among which representatives of the Chenopodioideae (*Chenopodiaceae gen. indet.*) dominate. Palinozones similar in composition can be traced in the subboreal sediments of the Jarylgach lake (Subetto et al., 2023).

The palinospectrums of palinozone 2 (depth 2.29-2.68 m) are still dominated by representatives of the grass-shrub group, among which the communities consisting mainly of Chenopodioideae confidently dominate (in total from 34 to 52%). The subdominants are representatives of the Asteraceae (*Asteraceae gen. indet.*), cereals (*Poaceae gen. indet.*) and Rosaceae (*Rosaceae gen. indet.*). The spectra show the characteristic features of the palinozone of the end of the subboreal-the beginning of the subatlantic time ($\text{SB}_3\text{-SA}_1$) of Lake Jarylgach (Subetto et al., 2023). A distinctive feature of palinozone 2 is a noticeable increase in pollen of synanthropic plants: *Plantago spp.*, *Polygonaceae gen. indet.*, *Rumex spp.*, which may indirectly indicate the activation of human activity in the study area during this period.

The data of the geochemical study, including indicators LOI_{550} , LOI_{950} , changes in geochemical indicators of paleoclimate (relative temperature, relative humidity, changes in water level in the reservoir) and anthropogenic activity, allow us to draw conclusions about the conditions of sedimentation of bottom lake sediments in the Holocene.

4. Conclusions

The beginning of sediment formation in Lake Donuzlav occurred in the subboreal period. According to geochemistry, granulometry and spore-pollen analysis, cool and dry climatic conditions are observed at the end of the subboreal period. The further development of the lake is associated with the transition from the subboreal to the subatlantic period ($\text{SB}_3\text{-SA}_1$). According to geochemical and spore-pollen analysis, the anthropogenic impact on the lake basin is increasing. At the end of the subboreal-the beginning of the subatlantic period ($\text{SB}_3\text{-SA}_1$), climatic fluctuations from a wetter climate to arid and again to a wetter climatic episode are recorded. This, in turn, influenced the change in the water level in the reservoir and the processes of increasing the salinity of the lake. The upper layer of sediments is formed in the sub-Atlantic period, in a humid climate. The deposits of the cultural layer on the Donuzlav-10 monument were formed with an increase in climate aridization around the 12th-11th century BC. Geochemical studies of sediments at the locations of the Donuzlav 10 livestock enclosure have shown changes in the composition of sediments associated with intensive processing as a result of keeping livestock (Markova et al., 2023). Further formation of

deposits on the monument took place in wetter conditions, close to modern ones, dated by the radiocarbon method around the 2nd century BC-1st century AD.

Acknowledgements

The study was carried out with the financial support of the Russian National Fund (Project No. 22-18-00065, <https://rscf.ru/project/22-18-00065/> “Cultural and historical processes and paleomedium in the Late Bronze – Early Iron Age of the Northwestern Black Sea region: an interdisciplinary approach”) at the Herzen State Pedagogical University.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- Grychuk V.P., Zaklanskaya E.D. 1948. Analysis of fossil pollen and spores and its application in paleogeography. Moscow: Geografiz. (in Russian)
- Gerrard A.D. 1984. Soils and landforms. Leningrad: Nedra. (in Russian)
- Keller J.B. 1963. Conductivity of a medium containing a dense array of perfectly conducting spheres or cylinders or nonconducting cylinders. *Journal of Applied Physics* 34(4): 991-993. DOI:[10.1063/1.1729580](https://doi.org/10.1063/1.1729580)
- Kuvshinova O.A., Sardaeva M. N. 2016. The method of operation on the LASKA-1K laser analyzer. Energy-efficient and resource-saving technologies and systems: pp. 268-273. (in Russian)
- Kulkova M.A. 2012. Methods of applied paleolandscape geochemical research. St. Petersburg: Publishing house of RSPU.
- Kurnakov N.S., Kuznetsov V.G., Zens-Litovsky A.I. et al. 1936. Salt lakes of Crimea. Moscow; Leningrad: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR. (in Russian)
- Markova M.A., Kulkova M.A., Kashuba M. T. et al. 2023. Assessment of geoecological factors at the Late Bronze Age settlement Donuzlav-10 with “stone cattle pens” (Northwestern Crimea). LXXVI Herzen readings. Geography: development of science and education: pp. 61-64. (in Russian)
- Nesbitt H. W., Young G. M. 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature* 299(5885): 715-717. DOI:[10.1038/299715a0](https://doi.org/10.1038/299715a0)
- Subetto D.A., Sapelko T.V., Stolba V.F. et al. 2023. Paleolimnology of the Western Crimea lakes. *Doklady Earth Science* 510(1): 106-111. DOI:[10.31857/S2686739723600157](https://doi.org/10.31857/S2686739723600157)

Палеогеографические условия формирования оз. Донузлав в голоцене (Северо-Западный Крым)

Краткое сообщение

LIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGYЕрохова М.С.^{1*}, Кулькова М.А.¹, Маркова М.А.¹, Стрельцов М.А.¹,
Кузнецов Д.Д.², Кочубей О.В.³, Кашуба М.Т.⁴¹ РГПУ им. А.И. Герцена, Набережная реки Мойки, 48, Санкт-Петербург, 191186, Россия² Институт озероведения РАН, ул. Севастьянова, 9, Санкт-Петербург, 196105, Россия³ ВНИГРИ, ул. Фаянсовая, 20, корп.2, лит. А, Санкт-Петербург, 192102, Россия⁴ ИИМК РАН, Дворцовая наб., 18, лит. А, Санкт-Петербург, 191186, Россия

АННОТАЦИЯ. Статья посвящена реконструкции палеоклиматических условий в голоцене и влияния антропогенного фактора по данным исследования донных отложений озера Донузлав (Северо-Западный Крым). Для этой цели применялись методы геохимического, гранулометрического, спорово-пыльцевого анализов озерных отложений. Отбор отложений проводился с помощью Русского бура. Рентгено-спектральный флуоресцентный анализ и анализ потерь вещества при прокаливании применялись для определения химического состава отложений. Корреляция палеоклиматических данных седиментогенеза озерных отложений с условиями формирования культурного слоя на поселении позднего бронзового века Донузлав 10, позволила установить условия жизнедеятельности людей. Начало формирования отложений в оз. Донузлав относится к суббореальному периоду. Изменение уровня воды в озере связано с изменением климатических факторов, главным образом, изменения влажности климата. В конце суббореального-начале атлантического периода отмечается увеличение антропогенного воздействия на водосборный бассейн. В это время происходит развитие поселений позднего бронзового века с загонами для скота. Аридизация климата в конце суббореального периода привела к уменьшению уровня воды в озере и увеличению солености озера.

Ключевые слова: донные озерные отложения, реконструкция палеоклимата в голоцене, геохимические индикаторы, спорово-пыльцевой анализ, соляные озера, поздний бронзовый век, Северо-Западный Крым

Для цитирования: Ерохова М.С., Кулькова М.А., Маркова М.А., Стрельцов М.А., Кузнецов Д.Д., Кочубей О.В., Кашуба М.Т. Палеогеографические условия формирования оз. Донузлав в голоцене (Северо-Западный Крым) // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - С. 328-333. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-328

1. Введение

Озера Крымского полуострова всегда привлекали внимание исследователей как в научном, так и в хозяйственном отношении, уже в 20–30-х годах XX века было положено начало исследованиям соленых озер (Курнаков и др., 1936). Первые данные в области реконструкции условий изоляции озер западной части Крыма были представлены сравнительно недавно. Комплексными исследованиями были изучены донные отложения оз. Сакского и оз. Джарылгач (Subetto et al., 2023).

Озеро Донузлав является вторым по величине и самым глубоким озером Северо-Западного Крыма,

расположенном между Тарханкутским полуостровом на северо-западе и Евпаторийским плато на юго-востоке и относится к Тарханкутской группе минеральных озер. Исходя из значений коэффициента метаморфизации для рапы, оз. Донузлав можно отнести к типичному озеру морского типа, которое отделилось от моря около 4,5 тыс. лет назад (Курнаков и др., 1936). Исследование озерных отложений и реконструкция условий седиментогенеза донных отложений озера является важной задачей не только для установления динамики климатических процессов в голоцене и получения новых данных по оценке антропогенного влияния, но и для установления деталей жизнедеятельности древних

*Автор для переписки.

Адрес e-mail: slenderina135@gmail.com (М.С. Ерохова)

Поступила: 09 июня 2024; Принята: 28 июня 2024;

Опубликована online: 26 августа 2024

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



сообществ в этом регионе, информация о которых является культурно-исторической ценностью для Крымского полуострова.

2. Материалы и методы

Отбор образцов донных отложений на геохимический, гранулометрический и спорово-пыльцевой анализ производился в открытой части озера с плавучей устойчивой платформы с помощью Русского бура сотрудниками института озероведения РАН (Д.Д. Кузнецов, Т.В. Сапелко). GPS координаты точек отбора образцов: 45.47618°N, 33.25336°E. Литология отложений в керне представлена следующим образом: на глубине 2,03-2,19 м - серая однородная гиттиевая глина; 2,19-2,23 м - черная однородная гиттиевая глина; 2,23-2,74 м - черная однородная глинистая гиттия с крупными фрагментами растительных макроостатков; 2,74-2,87 м - темно-серый плотный слабослоистый глинистый алевролит.

Из керна оз. Донузлав отобрано 40 образцов отложений через 2-3 см. Для проведения геохимического анализа, пробы высушивались при $T = 105^{\circ}\text{C}$, растирались в яшмовой ступке до состояния пудры и запрессовывались в таблетку на подложке из борной кислоты. Анализ проводился с помощью рентгено-флуоресцентного волно-дисперсионного спектрометра «Спектроскан МАКС-GV». Определены концентрации 32 породообразующих оксидов и микроэлементов. Рассчитаны геохимические индикаторы изменения условий седиментогенеза: $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ (Джеррард, 1984), Rb/Sr , $\text{CIA} = \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ (Nesbitt and Young, 1982), SiO_2 биогенный (Keller, 1963), CaO/MgO , P_2O_5 антропогенный (Кулькова, 2012). Определены потери при прокаливании (LOI) при 550°C и 950°C , показывающие содержание органической и карбонатно-сульфатной составляющих.

Для установления гранулометрического состава пробы подготовлены и проанализированы на лазерном анализаторе частиц «ЛАСКА-ТД» с помощью стандартной методики (Кувшинова и Сардаева, 2016).

Спорово-пыльцевой анализ донных отложений был выполнен О.В. Кочубей, сотрудником лаборатории палинологических исследований ВНИГРИ по стандартной методике (Гричук и Заклинская, 1948).

Для реконструкции палеогеографических условий на археологическом памятнике позднего бронзового века Донузла-10 были отобраны образцы отложений из разреза стенки шурфа на поселении, расположенном на берегу оз. Донузлав. Географические координаты центральной части поселения: $45^{\circ}26.762'\text{N}$, $33^{\circ}14.856'\text{E}$. Отложения представлены сверху-вниз: 0-7 см - дерновый слой; 7-14 см - отложения плотной коричневой супеси; 14-35 см светло-коричневый суглинок; 35-40 см - карбонатный щебень. Для реконструкции палеоклимата применялись геохимический и гранулометрический анализы отложений. Радиоуглеродное

определение возраста отложений культурного слоя на гл.14-35 см проводилось по вытяжкам гуминовых кислот из почв в радиоуглеродной лаборатории РГПУ им. А.И. Герцена по традиционной радиометрической методике с использованием сцинтилляционного счетчика «Quantulus-1220».

3. Результаты и обсуждение

В ходе проведения спорово-пыльцевого анализа было выделено две палинозоны. Палинозона 1 (гл. 2,77-2,85 м) характеризуется преобладанием пыльцы травянистых растений, среди которых господствуют представители маревых (*Chenopodiaceae* gen. indet.). Похожие по составу палинозоны прослеживаются в суббореальных отложениях оз. Джарылгач (Subetto et al., 2023).

В палиносpectрах палинозоны 2 (гл. 2,29-2,68 м) по-прежнему преобладают представители травяно-кустарничковой группы, среди которых уверенно господствуют марево-полынные сообщества (суммарно от 34 до 52%). Субдоминантами выступают представители сложноцветных (*Asteraceae* gen. indet.), злаковых (*Poaceae* gen. indet.) и розоцветных (*Rosaceae* gen. indet.). В спектрах прослеживаются характерные особенности палинозон конца суббореального-начала субатлантического времени ($\text{SB}_3\text{-SA}_1$) оз. Джарылгач (Subetto et al., 2023). Отличительной особенностью палинозоны 2 является заметное увеличение пыльцы синантропных растений: *Plantago* spp., *Polygonaceae* gen. indet., *Rumex* spp., что может косвенно свидетельствовать об активизации хозяйственной деятельности человека на территории исследования в данный период.

Данные геохимического исследования, включающие показатели LOI_{550} , LOI_{950} , изменения геохимических индикаторов палеоклимата (относительной температуры, относительной влажности, изменения уровня воды в водоеме) и антропогенной активности, позволяют сделать выводы об условиях седиментогенеза донных озерных отложений в голоцене.

4. Заключение

Начало формирования отложений в озере Донузлав происходило в суббореальном периоде. По данным геохимии, гранулометрии и спорово-пыльцевого анализа в конце суббореального периода отмечаются прохладные и сухие климатические условия. Дальнейшее развитие озера связано с переходом от суббореального к субатлантическому периоду ($\text{SB}_3\text{-SA}_1$). По данным геохимического и спорово-пыльцевого анализа увеличивается антропогенное влияние на озерный бассейн. В конце суббореального-начале субатлантического периода ($\text{SB}_3\text{-SA}_1$) фиксируются климатические колебания от более влажного климата к засушливому и снова к более влажному климатическому эпизоду. Это в свою очередь повлияло на изменение уровня воды в водоеме и процессы увеличения

солености озера. Верхний слой отложений формируется в субатлантическом периоде, в условиях влажного климата. Отложения культурного слоя на памятнике Донузлав-10 были сформированы при увеличении аридизации климата около 12-11 в. до н.э. Геохимические исследования отложений в местах расположения загона Донузлав 10 показали изменения состава отложений, связанного с интенсивной его переработкой в результате содержания домашних животных (Маркова и др., 2023). Дальнейшее формирование отложений на памятнике происходило в более влажных, приближенных к современным, условиях, датированных радиоуглеродным методом около 2 в. до н.э.-1 в. н.э.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект №22-18-00065, <https://rscf.ru/project/22-18-00065/> «Культурно-исторические процессы и палеосреда в позднем бронзовом – раннем железном веке Северо-Западного Причерноморья: междисциплинарный подход») в РГПУ им. А. И. Герцена.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

Гричук В. П., Заклинская Е. Д. 1948. Анализ ископаемых пыльцы и спор и его применение в палеогеографии. Москва: Географгиз.

Джеррард А. Д. 1984. Почвы и формы рельефа. Ленинград: Недра.

Кувшинова О. А., Сардаева М. Н. 2016. Методика работы на лазерном анализаторе «ЛАСКА-1К». Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: 268-273.

Кулькова М. А. 2012. Методы прикладных палеолендшафтных геохимических исследований. Санкт-Петербург: Изд-во РГПУ.

Курнаков Н. С., Кузнецов В. Г., Дзэнс-Литовский А. И. и др. 1936. Соляные озера Крыма. Москва; Ленинград: Изд-во Акад. наук СССР.

Маркова М. А., Кулькова М. А., Кашуба М. Т. и др. 2023. Оценка геоэкологических факторов на поселении позднего бронзового века Донузлав-10 с «каменными загонами для скота»(Северо-Западный Крым). LXXVI Герценовские чтения. География: развитие науки и образования: 61-64.

Keller J.B. 1963. Conductivity of a medium containing a dense array of perfectly conducting spheres or cylinders or nonconducting cylinders. *Journal of Applied Physics* 34(4): 991-993. DOI:[10.1063/1.1729580](https://doi.org/10.1063/1.1729580)

Nesbitt H. W., Young G. M. 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature* 299(5885): 715-717. DOI:[10.1038/299715a0](https://doi.org/10.1038/299715a0)

Subetto D.A., Sapelko T.V., Stolba V.F. et al. 2023. Paleolimnology of the Western Crimea lakes. *Doklady Earth Science* 510(1): 106-111. DOI:[10.31857/S2686739723600157](https://doi.org/10.31857/S2686739723600157)