

# Holocene stable oxygen isotope record from the North Caspian Rybachya core



Tkach A.A.<sup>1\*</sup>, Zenina M.A.<sup>2,3</sup>, Yanina T.A.<sup>1</sup>, Tkach N.T.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Laboratory of Pleistocene Paleogeography, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory 1a, Moscow, 119991, Russia

<sup>2</sup>Laboratory of paleoceanology, Geological department, P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Science, Nakhimovsky prospect 36, Moscow, 117997, Russia

<sup>3</sup>A.V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Palchevsky 17, Vladivostok, 690041, Russia

<sup>4</sup>Department of Oil-Gas Sedimentology and Marine Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory 1a, Moscow, 119991, Russia

**ABSTRACT.** The first results of 22  $\delta^{18}\text{O}_{\text{ost}}$  measurements on ostracod shells from the Rybachya core in the North Caspian Sea are presented. The stable oxygen isotope record here confirms previous studies of Upper Quaternary and Holocene sediments of the Rybachya core area, where it was suggested that a paleovalley was formed during the Mangyshlak regressive stage and then gradually filled during the Holocene transgressive stage. We recorded three local isotopic stages, each characterized by  $\delta^{18}\text{O}_{\text{ost}}$  values. The hydrological variability and sea level changes associated with the transgressive-regressive rhythm of the Caspian Basin and the climatic changes in the Northern Hemisphere led to the  $\delta^{18}\text{O}_{\text{ost}}$  changes obtained in this work. Relatively depleted  $\delta^{18}\text{O}_{\text{ost}}$  values from sediments filling the paleovalley allowed to interpret the isotope record in terms of freshwater influx. The average  $^{18}\text{O}$  enrichment of ostracod shells is taken as evidence for the isolation of the paleovalley during the Caspian Sea level retreat. However, the higher  $\delta^{18}\text{O}_{\text{ost}}$  values obtained for the last (modern) stage of Caspian history are under the strong control of host water salinity, which is higher than during the paleovalley filling episode.

**Keywords:** Caspian Sea, Neocaspian transgression, Mangyshlak regression, stable oxygen analysis, paleovalley, Ostracoda

**For citation:** Tkach A.A., Zenina M.A., Yanina T.A., Tkach N.T. Holocene stable oxygen isotope record from the North Caspian Rybachya core // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - P. 712-717. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-712

## 1. Introduction

The problem of multiscale fluctuations of the Caspian Sea level is of great importance nowadays. However, stable isotope studies of the intricate history of sea-level rise and fall have not been widely implemented. The North Caspian Sea sediments can provide detailed information on transgressive-regressive cycles of different amplitude and duration, particularly during the Holocene. As a reliable tool for paleogeographic reconstructions, the stable oxygen isotope record of such sediments can reveal environmental factors influencing the isotopic composition of carbonates to use isotope variations to indicate past environmental changes, reflecting both local (regional)

and global paleogeographic events. The purpose of this study is to elucidate the response of the stable oxygen isotope record of the Rybachya core to the paleogeographic changes that occurred in the North Caspian region during the Holocene and at the Late Pleistocene-Holocene boundary.

## 2. Materials and methods

The Rybachya core was recovered in the northern (shallowest) part of the Caspian Sea, near the Volga delta, at a water depth of 8 m (Fig. 1). The core was provided by LLC “Morinzhgeologiya” for a comprehensive study at the Laboratory of Pleistocene Paleogeography

\*Corresponding author.

E-mail address: [alinaberdnikowa@yandex.ru](mailto:alinaberdnikowa@yandex.ru) (A.A. Tkach)

**Received:** June 17, 2024; **Accepted:** July 08, 2024;

**Available online:** August 26, 2024

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



(Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University). The total length of the recovered core is 9.5 m. The radiocarbon dates of several core samples, lithological and geochemical analyses of the core sediments, and studies of the diatom, mollusk, and ostracod fauna have been published previously (Berdnikova et al., 2023; Lysenko et al., 2024). These studies include a detailed description of the lithological structure of the core and all the results.

Measurements of  $\delta^{18}\text{O}_{\text{ost}}$  were performed on ostracod shells using a Thermo Scientific MAT 253 isotope ratio mass spectrometer with the Kiel-IV automated carbonate device with a standard deviation of  $\pm 0.04\text{‰}$ . The international standard NBS-19 and the laboratory standard “Standard Bremen” were used for calibration. Specific  $\delta^{18}\text{O}_{\text{ost}}$  values represent host water conditions. A specific isotopic offset (vital effect) for different Caspian ostracod taxa relative to the expected equilibrium value of inorganic calcite was presented by Tkach et al. (2024). In total, 22 samples were measured. The results are shown in Fig. 1.

### 3. Results and Discussion

Previous works (Berdnikova et al., 2023; Lysenko et al., 2024) allowed us to conclude that the sedimentary sequence of the Rybachya core captured paleogeographic events of different scales in one of the paleovalleys established in the North Caspian Sea by Bezrodnykh and Sorokin (2016). The four stages of gradual filling of the paleovalley have been described (Berdnikova et al., 2023; Lysenko et al., 2024). First, the Mangyshlak stream eroded the Upper Khvalynian deposits and formed the depression in the Lower Khvalynian deposits. Overlying sedimentary units were formed in accordance with the three events that occurred during the transgressive Neocaspian stage in the Holocene.

Three local oxygen isotope stages (LIS, Fig. 1) were traced along the Rybachya core sequence. A measurement at a depth of 635 cm corresponds to the lower

sedimentary unit (LIS 1) identified by Berdnikova et al. (2023) as Lower Khvalynian. The  $\delta^{18}\text{O}_{\text{ost}}$  value of  $-3.53\text{‰}$  is relatively enriched in  $^{18}\text{O}$  compared to other measurements along the core (Fig. 1).

In the overlying sediments (LIS 2), the stable oxygen isotope data do not allow us to unambiguously determine different isotopic stages for the first phase of paleovalley repletion suggested by Berdnikova et al. (2023): 1) a shallow stagnant freshwater environment until 7-8 cal. kyr BP, and 2) a transitional sedimentary environment from a quiescent hydrodynamic water regime to a more dynamic one around 7-8 cal. kyr BP. The  $\delta^{18}\text{O}_{\text{ost}}$  values in the depth interval 184.5-331.5 cm decrease from  $-8.1\text{‰}$  at the base of the sequence to  $-12.93\text{‰}$  in its upper part (Fig. 1). This interval is also characterized by higher  $\delta^{18}\text{O}_{\text{ost}}$  values in contrast to the general depleting trend: e.g. a local maximum at a depth of 243 cm with a  $\delta^{18}\text{O}_{\text{ost}}$  value of  $-6.8\text{‰}$  (Fig. 1). Relatively depleted  $\delta^{18}\text{O}_{\text{ost}}$  values from sediments filling the paleovalley allowed the isotopic record to be interpreted in terms of freshwater influx, while the average  $^{18}\text{O}$  enrichment of ostracod shells is assumed to be evidence of paleovalley isolation during Caspian Sea level retreat and more stagnant hydrodynamic conditions in an isolated basin during a regressive episode of the Neocaspian epoch. Thus, we agree with Lysenko et al. (2024) that the sedimentary unit filling the studied paleovalley does not correspond to the transgressive but to the regressive stage of the Caspian history. The process of filling the depression with fresh water was accompanied by sea recession and isolation of the paleovalley. Eventually, salinity in this basin increased (probably due to evaporation rates and, according to diatom analysis results, lack of a constant freshwater source) until the basin became brackish.

We assume that the inflection points of the depleted isotope composition  $-14.3\text{‰}$  and  $-13.91\text{‰}$  at depths of 153.5 cm and 135.5 cm, respectively (Fig. 1), indicate the beginning of the modern stage in the paleogeographic history of the studied area, when the existing environmental conditions were interrupted by

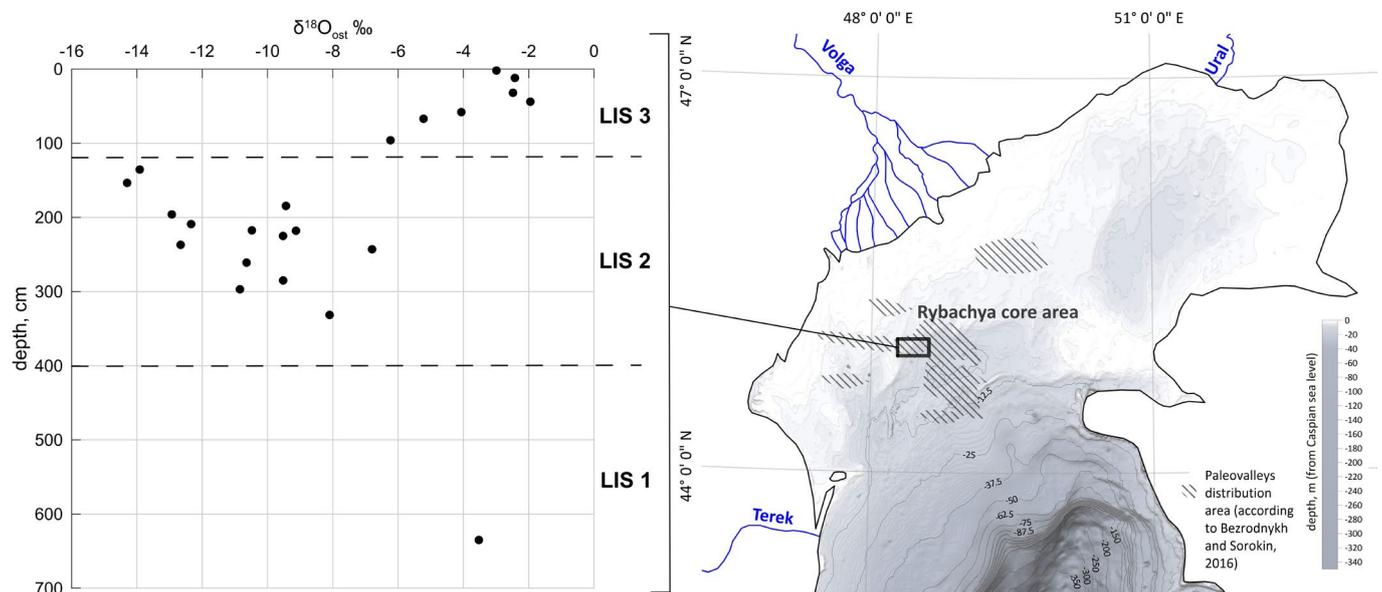


Fig.1. Location and stable oxygen isotope record of the Rybachya core.

the transitional phase of a higher-energy environment and the paleovalley was filled with fresh water again at the beginning of the Neocaspian transgression.

Subsequently, brackish conditions typical of the modern Caspian Sea (LIS 3) developed. The increased salinity of the North Caspian Sea during the Neocaspian correlates with the enrichment of the isotopic composition of ostracods from the upper core sequence, considering that variations in  $\delta^{18}\text{O}_{\text{ost}}$  can be directly related to changes in the salinity of the host water (Nikolaev, 1995). Apparently, the  $\delta^{18}\text{O}_{\text{ost}}$  values of about -2.5‰ (Fig. 1) correspond to the final stage of the Neocaspian transgression in the Rybachya core area (LIS 3).

#### 4. Conclusions

Results of stable oxygen isotope analysis of ostracods confirm previously published data on paleogeographic reconstruction of North Caspian sedimentation conditions based on Rybachya core drilling data (Berdnikova et al., 2023; Lysenko et al., 2024). The Mangyshlak regression left no sedimentary traces in the studied area. At that time a stream eroded the Upper Khvalynian deposits and formed a depression in the Lower Khvalynian deposits. It was later filled up during the Holocene. The  $\delta^{18}\text{O}_{\text{ost}}$  record revealed several hydrological shifts reflecting Caspian Sea level changes, global and regional climate changes, freshwater influxes and periodic isolation of the study area. Similar results were previously reported for the nearby area of the North Caspian Sea, where cores GS 194-08-01 and GS 194-08-14 were recovered (Chekhovskaya et al., 2018).

#### Acknowledgements

The research was funded by the RSF grant №24-77-00011. We thank Taldenkova E.E. and foreign colleges for the help with stable oxygen isotope measurements, and LLC “Morinzhegeologiya” for the core material.

#### Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interest.

#### References

- Berdnikova A., Lysenko E., Makshaev R. et al. 2023. Multidisciplinary Study of the Rybachya Core in the North Caspian Sea during the Holocene. *Diversity* 15(2). DOI: [10.3390/d15020150](https://doi.org/10.3390/d15020150)
- Bezrodnykh Y.P., Sorokin V.M. 2016. On the age of the Mangyshlak deposits of the northern Caspian Sea. *Quaternary Research* 85(2): 245–254. DOI: [10.1016/j.yqres.2016.01.004](https://doi.org/10.1016/j.yqres.2016.01.004)
- Chekhovskaya M.P., Zenina M.A., Matul A.G. et al. 2018. Ostracod-Based Paleoreconstructions on the Northern Caspian Sea Shelf during the Holocene. *Oceanology* 58(1): 79-91. DOI: [10.1134/S0001437018010010](https://doi.org/10.1134/S0001437018010010)
- Lysenko E.I., Tkach A.A., Makshaev R.R. et al. 2024. Palaeoecological situation in pre-delta area of the North Caspian Sea during the Holocene. *Lomonosov Geography Journal* 79(1): 61-77. DOI: [10.55959/MSU0579-9414.5.79.1.5](https://doi.org/10.55959/MSU0579-9414.5.79.1.5) (in Russian)
- Nikolaev S.D. 1995. *Isotope paleogeography of inland seas*. Moscow: VNIRO (in Russian)
- Tkach A.A., Tkach N.T., Zenina M.A. 2024. Stable oxygen isotopes in modern ostracods from the Caspian Sea. *Journal of Paleolimnology*. DOI: [10.1007/s10933-024-00321-3](https://doi.org/10.1007/s10933-024-00321-3)

# Изотопно-кислородная летопись голоцена Северного Каспия по данным керна скважины Рыбачья

Краткое сообщение

LIMNOLOGY  
FRESHWATER  
BIOLOGYТкач А.А.<sup>1\*</sup>, Зенина М.А.<sup>2,3</sup>, Янина Т.А.<sup>1</sup>, Ткач Н.Т.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Лаборатория новейших отложений и палеогеографии плейстоцена, Географический факультет, МГУ им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы 1а, Москва, 119991, Россия

<sup>2</sup>Лаборатория палеоокеанологии, Геологическое направление, ИО им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский проспект, 36, Москва, 117997, Россия

<sup>3</sup>Национальный научный центр морской биологии имени А. В. Жирмунского, ДВО РАН, Пальчевского, 17, Владивосток, 690041, Россия

<sup>4</sup>Кафедра нефтегазовой седиментологии и морской геологии, Геологический факультет, МГУ им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы 1а, Москва, 119991, Россия

**АННОТАЦИЯ.** В настоящей работе впервые представлены результаты измерений  $\delta^{18}\text{O}$  в 22 пробах раковин остракод из керна скважины Рыбачья в акватории Северного Каспия. Изотопно-кислородная летопись подтверждает выводы, сформулированные ранее благодаря комплексному изучению верхнечетвертичных и голоценовых отложений Каспийского моря в скважине, которая вскрывает палеопонижение, постепенно заполнявшееся в голоцене. Нами зафиксировано три локальных изотопных стадии, каждая из которых характеризуется более тяжелыми или более легкими показателями  $\delta^{18}\text{O}_{\text{ost}}$ . Эти изменения обусловлены перестройкой гидрографической сети вслед за изменением положения уровня Каспийского моря, связанного с его трансгрессивно-регрессивной ритмикой на фоне климатических изменений в Северном полушарии. Относительно изотопно-легкие значения во время заполнения палеовреза подтверждают мнение, согласно которому изученная область находилась под доминирующим влиянием проточных пресных вод. Отклонение значений  $\delta^{18}\text{O}_{\text{ost}}$  в сторону больших показателей, напротив, является свидетельством изоляции палеопонижения, когда уровень Каспийского моря колебался и вслед за подъемом следовало его падение. В то же время более высокие значения  $\delta^{18}\text{O}_{\text{ost}}$ , полученные для завершающей – современной стадии развития Каспия, характеризуют условия, в которых соленость стала выше, чем на этапе заполнения палеовреза.

**Ключевые слова:** Каспийское море, новокаспийская трансгрессия, мангышлакская регрессия, анализ стабильных изотопов кислорода, палеопонижения, остракоды

**Для цитирования:** Ткач А.А., Зенина М.А., Янина Т.А., Ткач Н.Т. Изотопно-кислородная летопись голоцена Северного Каспия по данным керна скважины Рыбачья // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - С. 712-717. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-712

## 1. Введение

Проблема разномасштабных колебаний уровня Каспия особенно актуальна в современных условиях изменения климата. Тем не менее, изучение сложной истории развития Каспийского моря с точки зрения анализа стабильных изотопов не получило широкого распространения до настоящего времени. В отложениях Северного Каспия могут быть детально запечатлены голоценовые трансгрессивно-регрессивные события Каспийского моря. Изотопно-кислородная летопись таких отложе-

ний является надежным инструментом для реконструкций динамики изменения водоема в ходе накопления соответствующих отложений, а также индикатором изменений гидрологических условий, отражающих как локальные (региональные), так и глобальные палеогеографические события. Целью настоящей работы является выяснение отклика изотопно-кислородной летописи керна скважины Рыбачья на палеогеографические изменения, происходившие в акватории Северного Каспия в голоцене, а также на рубеже плейстоцена и голоцена.

\*Автор для переписки.

Адрес e-mail: [alinaberdnikowa@yandex.ru](mailto:alinaberdnikowa@yandex.ru) (А.А. Ткач)

**Поступила:** 17 июня 2024; **Принята:** 08 июля 2024;

**Опубликована online:** 26 августа 2024

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



## 2. Материалы и методы

Скважина Рыбачья пробурена в акватории Северного Каспия – наиболее мелководной области Каспийского моря, вблизи дельты Волги, на глубине моря 8 м (Рис. 1). Керн скважины был предоставлен ООО «Моринжгеология» для комплексного исследования в НИЛ новейших отложений и палеогеографии плейстоцена (Географический ф-т, МГУ им. М.В. Ломоносова) Общая длина керна составила 9,5 м. Ранее были опубликованы результаты радиоуглеродного датирования нескольких образцов керна, гранулометрического и геохимического анализов осадка, а также анализа содержащейся в нем фауны моллюсков, остракод и диатомей (Berdnikova et al., 2023; Лысенко и др., 2024). Указанные работы содержат подробное описание литологического строения керна и результатов его изучения.

Измерение изотопно-кислородного состава проведено по створкам остракод. Определенные значения (здесь и далее  $\delta^{18}\text{O}_{\text{ost}}$ ) характеризуют изотопно-кислородный состав воды, в которой происходило формирование раковин. Показатели жизненных эффектов, приводящих к изотопным сдвигам, также были определены ранее (Tkach et al., 2024). Для настоящего исследования измерения проведены на масс-спектрометре Thermo Scientific MAT 253 с автоматическим устройством подготовки Kiel IV. Для калибровки использованы международный стандарт NBS-19 и лабораторный стандарт “Standard Bremen”, откалиброванный относительно стандарта NBS-19. Воспроизводимость, в среднем, составила  $\pm 0.04\text{‰}$ . Всего измерено 22 пробы, результаты измерений представлены на Рис. 1.

## 3. Результаты и их обсуждение

Предыдущие работы (Berdnikova et al., 2023; Лысенко и др., 2024) позволили заключить, что керн скважины Рыбачья запечатлел изменение условий

природной среды в палеопонижении в Северном Каспии (Bezrodnykh and Sorokin, 2016), и описать четыре этапа заполнения данного вреза. На первом этапе эрозионная деятельность водотоков мангышлакского времени привела к размыву позднехвалынских отложений и формированию понижения путем врезания в нижнехвалынские осадки. Следующие за этим события являются стадиями заполнения палеопонижения, соответствующими трем событиям новокаспийской трансгрессии Каспийского моря, развивавшейся в голоцене.

В настоящей работе прослежены три локальных изотопно-кислородных стадии (ЛИС, Рис. 1). Лишь одно измерение соответствует нижней пачке отложений (ЛИС 1), идентифицированных (Berdnikova et al., 2023), как нижнехвалынские. Значения  $\delta^{18}\text{O}_{\text{ost}}$  здесь на глубине 635 см составляют  $-3,53\text{‰}$  (Рис. 1), то есть относительно утяжелены относительно других измерений по скважине. В вышележащих отложениях (ЛИС 2) изотопно-кислородные данные не позволяют отчетливо разделить этапы, связанные непосредственно с заполнением палеовреза мангышлакского времени, а именно обстановки опресненного водоема озерного типа во время начальной стадии осадконакопления в палеопонижении до 7-8 кал. л. н.; и переходную обстановку осадконакопления от спокойного водного режима к более динамичному около 7-8 кал. л. н. (Berdnikova et al., 2023; Лысенко и др., 2024). Значения  $\delta^{18}\text{O}_{\text{ost}}$  в интервале глубин 184,5-331,5 см понижаются от  $-8,1\text{‰}$  в основании толщи до  $-12,93\text{‰}$  в ее верхней части (Рис. 1). Для данного интервала также характерны пики утяжеления изотопно-кислородного состава на фоне общего тренда к снижению значений – например, пик на глубине 243 см со значением  $\delta^{18}\text{O}_{\text{ost}}$  равным  $-6,8\text{‰}$  (Рис. 1). Изотопно более легкие значения по сравнению с нижележащим горизонтом подтверждают мнение, согласно которому в момент заполнения палеовреза эта область находилась под доминирующим влиянием пресных вод. Вероятно, отклонение значений

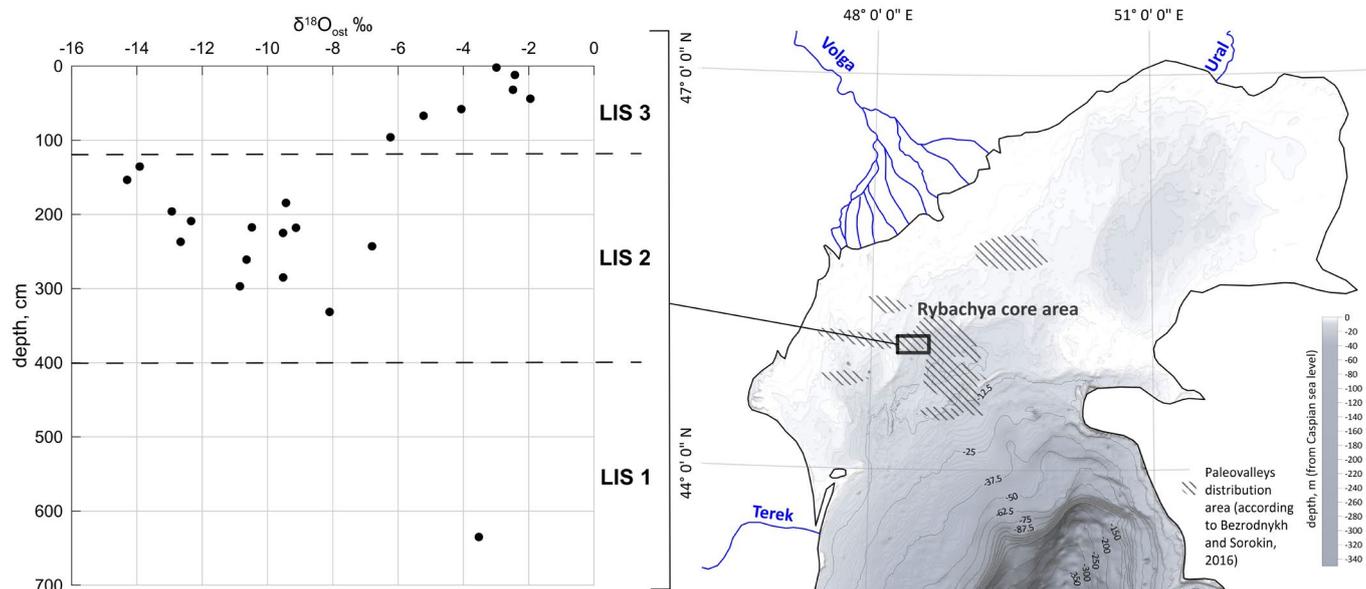


Рис.1. Местоположение скважины Рыбачья и результаты изотопно-кислородного анализа по вскрытым отложениям.

в сторону больших показателей  $\delta^{18}\text{O}_{\text{ost}}$  в рассматриваемом интервале глубин может быть свидетельством изоляции палеопонижения в ходе одного из этапов его заполнения, когда уровень Каспийского моря колебался и вслед за подъемом следовало его падение. Тем самым, подтверждается высказанное ранее мнение (Лысенко и др., 2024), согласно которому рассматриваемые отложения скважины Рыбачья, заполняющие палеоврез, соответствуют не максимуму трансгрессии, а обстановкам водоема, сформировавшегося при отступании моря. То есть на начальных этапах обособление палеопонижения сопровождалось процессом заполнения депрессии пресными водами, в результате чего был сформирован бассейн лагунного типа с низкой гидродинамикой, однако его соленость постепенно увеличивалась (вероятно, из-за испарения и отсутствия постоянного источника пресной воды, что подтверждается результатами диатомового анализа). Пики максимально легких изотопно-кислородных показателей  $-14,3\text{‰}$  и  $-13,91\text{‰}$  на глубинах 153,5 см и 135,5 см, соответственно (Рис. 1), интерпретируются нами как начало заключительного – современного этапа в развитии данного участка, во время которого врез вновь заполнялся пресной водой в результате интенсификации поверхностного стока в начале новокаспийской трансгрессии перед переходом к типичным для современного Каспия солонатоводным условиям, соответствующим ЛИС 3. Известно, что  $\delta^{18}\text{O}_{\text{ost}}$  может корректироваться в зависимости от солености воды. В результате более активной циркуляции и смешивания вод соленость Северного Каспия возрастала (Николаев, 1995), что неизбежно оказывало влияние на утяжеление изотопно-кислородного состава. Таким образом, вероятно, заключительный этап новокаспийской трансгрессии (ЛИС 3) в керне скважины Рыбачья нашел отражение в утяжелении показателей  $\delta^{18}\text{O}_{\text{ost}}$  до значений порядка  $-2,5\text{‰}$  (Рис. 1).

#### 4. Заключение

В целом результаты изотопно-кислородного анализа остракод, представленные в настоящей работе, подтверждают более ранние реконструкции палеогеографических обстановок и условий осадконакопления в Северном Каспии по данным бурения скважины Рыбачья (Berdnikova et al., 2023; Лысенко и др., 2024). Мангышлакская регрессия не оставила следов на изученном ключевом участке, в это же время в результате размыва верхнехвалынских

отложений и врезания водотока в раннехвалынские отложения сформировалось палеопонижение, которое заполнялось в голоцене. Значения  $\delta^{18}\text{O}_{\text{ost}}$  фиксируют сложную ритмику перестройки существовавшего на данном месте водоема, смены его проточного режима и изоляции, а также величины влияния пресных речных вод и изменения уровня моря. Похожая на описанную в настоящей работе динамика была также ранее реконструирована для близлежащего района Северного Каспия по буровым колонкам ГС 194-08-01 и ГС 194-08-14 (Чеховская и др., 2018).

#### Благодарности

Работа выполнена в рамках проекта РНФ №24-77-00011. Авторы выражают глубокую благодарность к.г.н. Е.Е. Талденковой и иностранным коллегам за помощь в организации и проведении изотопно-кислородного анализа, а также ООО «Моринжгеология» за предоставленный буровой материал.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Список литературы

- Лысенко Е.И., Ткач А.А., Макшаев Р.Р. и др. 2024. Палеоэкологические условия в предельтовом районе Северного Каспия в голоцене. Вестник Московского университета. Серия 5. География 79(1): 61-77. DOI: [10.55959/MSU0579-9414.5.79.1.5](https://doi.org/10.55959/MSU0579-9414.5.79.1.5)
- Николаев С.Д. 1995. Изотопная палеогеография внутриконтинентальных морей. Москва: ВНИРО.
- Чеховская М.П., Зенина М.А., Матуль А.Г. и др. 2018. Реконструкция палеобстановки в голоцене на Северном шельфе Каспийского моря по остракодам. Океанология 58(1): 89-101. DOI: [10.7868/S0030157418010094](https://doi.org/10.7868/S0030157418010094)
- Berdnikova A., Lysenko E., Makshaev R. et al. 2023. Multidisciplinary Study of the Rybachya Core in the North Caspian Sea during the Holocene. Diversity 15(2). DOI: [10.3390/d15020150](https://doi.org/10.3390/d15020150)
- Bezrodnykh Y.P., Sorokin V.M. 2016. On the age of the Mangyshlak deposits of the northern Caspian Sea. Quaternary Research 85(2): 245–254. DOI: [10.1016/j.yqres.2016.01.004](https://doi.org/10.1016/j.yqres.2016.01.004)
- Tkach A.A., Tkach N.T., Zenina M.A. 2024. Stable oxygen isotopes in modern ostracods from the Caspian Sea. Journal of Paleolimnology. DOI: [10.1007/s10933-024-00321-3](https://doi.org/10.1007/s10933-024-00321-3)