

ЭВОЛЮЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ

УДК 551.79

ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ПРЕДЕЛЬТОВОМ РАЙОНЕ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ В ГОЛОЦЕНЕ

Е.И. Лысенко¹, А.А. Ткач², Р.Р. Макшаев³, Т.А. Янина⁴, М.А. Зенина⁵

^{1,4} Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет,
кафедра геоморфологии и палеогеографии

²⁻⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет,
лаборатория новейших отложений и палеогеографии плейстоцена

⁴ Санкт-Петербургский государственный университет, лаборатория макроэкологии и биогеографии беспозвоночных

⁵ Институт океанологии РАН, лаборатория палеоокеанологии

¹ Аспирант; e-mail: lenobl1996@gmail.com

² Мл. науч. сотр.; e-mail: alinaberdnikowa@yandex.ru

³ Ст. науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: radikm1986@mail.ru

⁴ Проф., зав. лабораторией, д-р геогр. наук; e-mail: paleo@inbox.ru

⁵ Ст. науч. сотр., канд. биол. наук; e-mail: maria_zenina@mail.ru

Палеоэкологические условия в предельтовом районе Северного Каспия реконструированы на основе результатов комплексного изучения керна скважины на структуре Рыбачья, вскрывшей голоценовые осадки. Выполнены геохимический, гранулометрический, малакофаунистический, диатомовый и микрофаунистический (остракоды) анализы, проведено радиоуглеродное датирование. В строении осадочной толщи отражены разномасштабные палеогеографические события, включающие заложение палеовреза в нижнехвалынских отложениях, сопровождаемое размытием верхнехвалынских отложений, его развитие в условиях мангышлакской регрессии и последовательное заполнение в ходе голоценовой новокаспийской трансгрессии, протекавшей стадийно. Голоценовый возраст отложений, заполняющих палеопонижение, подтвержден радиоуглеродными датами – 8070 ± 110 и 7020 ± 140 кал. л. н. Палеонтологические данные свидетельствуют о чередовании спокойного и динамичного водного режимов и квазицикличность смены условий в бассейне от солоноватоводных к пресноводным до морских на этапе осадконакопления, соответствующем современным условиям на шельфе Северного Каспия.

Ключевые слова: новокаспийские отложения, мангышлакская регрессия, биостратиграфия, диатомеи, малакофауна, остракоды, геохимия

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.1.5

ВВЕДЕНИЕ

Работа посвящена исследованию Северного Каспия – наиболее мелководной области Каспийского моря с средней глубиной около 5–6 м (рис. 1).

Дельта Волги – крупнейшая дельта в его акватории. Соленость современного Северного Каспия изменяется от 1–3‰ вблизи устья Волги до 11‰ в центральной части бассейна. Современный уровень моря расположен на отметке –28,7 м [КАСПКОМ, 2023]. Шельф Северного Каспия представляет собой пологонаклонную равнину, обращенную к юго-востоку, осложненную аккумулятивными формами (островами, банками) и участками палеодолин, которые формировались во время регрессивных этапов за счет эрозийной деятельности водотоков [Kostianoy, Kosarev, 2005].

Основной причиной изменений уровня Каспийского моря в позднем плейстоцене и голоцене считаются климатические колебания, однако данные о степени этих изменений противоречивы [Варущенко и др., 1987; Рычагов, 2011; Янина, 2013; Kislov et al., 2014]. Быстрые изменения глубины и площади водной поверхности моря особенно отражались на ходе эволюции природной среды мелководного Северного Каспия и прилегающего предельтового пространства Волги. Высокие скорости осадконакопления и чуткая реакция дельты на перемещение береговой линии Каспия обусловили интерес к этой территории с палеогеографической точки зрения.

Поздний плейстоцен и голоцен в Прикаспийском регионе представлены хвалынским и новока-

спийским ярусами соответственно [Свиточ, Янина, 1997]. Хвалынский трансгрессивный этап включает в себя нижний и верхний горизонты. Среди голоценовых событий Северного Каспия выделяют мангышлакскую регрессивную и новокаспийскую трансгрессивную эпохи. Во время мангышлакской регрессии уровень моря опускался до отметки –80 м, отложения этого времени заполняют речные врезы в толще хвалынских отложений и замкнутые палеопонижения – реликты рельефа палеodelьт [Безроздных и др., 2014, 2018].

Голоценовые осадки дельты и шельфа Северного Каспия изучены с использованием разнообразных геолого-геоморфологических и палеогеографических методов [Свиточ, Янина, 1997; Болиховская, 2011; Чеховская и др., 2018]. В то же время некоторые палеогеографические аспекты развития природной среды северокаспийского региона остаются дискуссионными, что связано с разными оценками возраста [Варущенко и др., 1987; Рычагов, 1997; Bezgodnykh, Sorokin, 2016] и амплитуды колебаний уровня Каспия в голоцене.

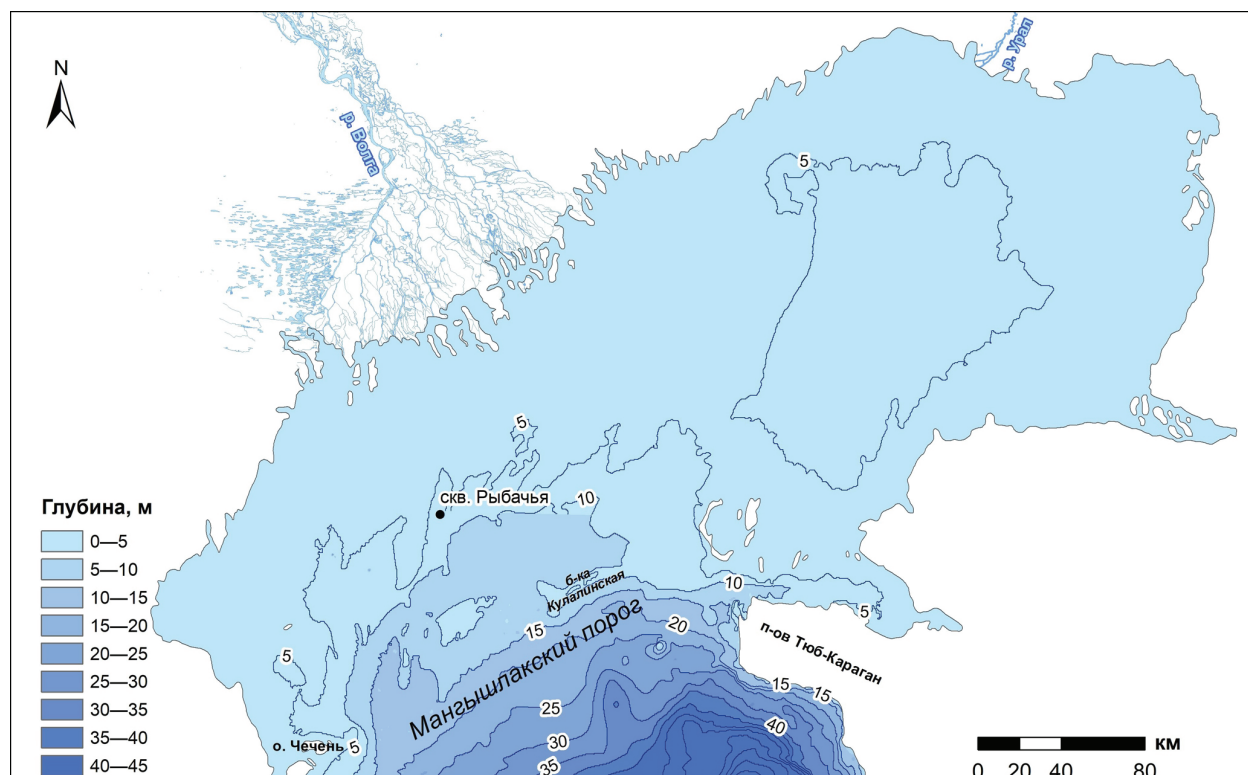


Рис. 1. Северный Каспий и местоположение скважины Рыбачья

Fig. 1. The North Caspian and the location of the Rybachya core

Для изучения нами выбран участок предельного пространства Волги на шельфе Северного Каспия, так как в его отложениях могут быть детально запечатлены голоценовые трансгрессивно-регрессивные события Каспия. Такие палеонтологические группы, как фауна моллюсков, остракод и диатомовые водоросли, являются надежными индикаторами изменения гидрологических условий, отражающих глобальные и региональные события, поэтапно прослеживаемые в этой работе. Геохимический анализ, совмещенный с гранулометрическим, также позволяет реконструировать динамику водной среды и изменения источников сноса в ходе формирования отложений.

Цель работы – реконструкции палеоэкологических условий в предельном районе Северного Каспия на основе комплексного анализа керна скважины, пробуренной на нефтеносной структуре Рыбачья (см. рис. 1). Структура Рыбачья в тектоническом отношении является частью Южно-Ракушечного вала [Дорофеев и др., 2015]. Основной интерес для исследователей представляют меловые отложения этой структуры, с которыми связаны месторождения нефти и газа (месторождение Рыбачье). Данных о строении четвертичных отложений в пределах этой структуры в открытых источниках не обнаружено. В этой работе мы приводим информацию о поздне-четвертичных отложениях в пределах структуры Рыбачья и результаты их комплексного анализа.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе использован буровой материал из скважины Рыбачья, пробуренной в пределах одноименной структуры на шельфе Северного Каспия на глубине моря 8 м. Керна скважины получен в ходе инженерно-геологических исследований ООО «Моринжгеология» в пределах акватории лицензионного участка «Северо-Каспийская площадь». Выделенная по литологическим признакам часть керна, содержащая четвертичные отложения, любезно предоставлена сотрудниками ООО «Моринжгеология» и хранится в НИЛ новейших отложений и палеогеографии плейстоцена географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова с целью его комплексного изучения. Общая длина керна составляет 9,5 м.

На рисунке 2 представлено литологическое описание керна.

Изучение керна выполнено гранулометрическим, геохимическим, малакофаунистическим, микрофаунистическим (остракоды) и диатомовым методами. Образцы для анализов отобраны из каждого литологического слоя вдоль всего керна. Наше исследование сосредоточено на изучении голоценовых событий. Более частый отбор образцов проведен для интервала с пестрым литологическим составом, характеризующим изменчивую среду осадконакопления, характерную для новокаспийского бассейна и, вероятно, отвечающую голоценовому времени. Монотонные песчаные толщи в основании разреза исследованы в основном с целью установления стратиграфического положения подробно изученных вышележащих осадков. Толща в основании керна опробована реже ввиду малой литологической изменчивости и утери некоторых объемов материала при бурении (см. рис. 2).

Гранулометрический анализ проведен для девяти образцов с помощью лазерного измерителя частиц FritschAnalysette 22. Все образцы (массой по 10–15 г каждый) были высушены в сушильной печи при температуре 50°C в течение трех часов и затем последовательно обработаны 10%-ми растворами соляной кислоты (HCl) и перекиси водорода (H₂O₂) для удаления карбонатов и органических веществ. Измерение образцов проводилось в интервале размерности от 0,8 до 2000 мкм. Гранулометрическая классификация приведена на основе работы Н.А. Качинского [1965] со следующими размерностями: <1 мкм (глины); 1–5 мкм (мелкие алевриты); 5–10 мкм (средние алевриты); 10–50 мкм (крупные алевриты); 50–250 мкм (мелкозернистые пески) и 250–1000 мкм (средние и крупнозернистые пески). Более крупные фракции в изученных образцах не обнаружены. Для образца из интервала 2,99–3,54 м представлены результаты гранулометрического

анализа фракции, оставшейся после растворения карбонатного матрикса.

Геохимические исследования проведены для образцов из тех же интервалов, что и гранулометрический анализ, с использованием энерго-дисперсионного анализатора Olympus Delta Professional (EDXRF) в режиме программы «геохимия». Образцы были предварительно высушены в сушильной печи при температуре 50°C в течение шести часов и после измельчены с помощью фарфоровой ступки. Содержание элементов в каждом образце рассчитано в процентах (%). Ведущими геохимическими индикаторами для выявления и корреляции каспийских морских отложений с региональной стратиграфией являются изменения доли Fe, Al, Si, Ti [Лобачева и др., 2021]. Основными источниками терригенного материала для Северного Каспия являются плейстоценовые морены, богатые Fe и Al, расположенные в верховьях Волжского бассейна [Судакова и др., 1995]. Поэтому в ходе анализа основное внимание уделялось распределению следующих элементов: Si, Ca, Sr, Fe и Ti.

Малакофаунистический анализ выполнен по 14 образцам, содержащим 960 раковин (и их обломков) моллюсков. Анализ включал таксономическую идентификацию и исследование сохранности раковин. Ископаемые раковины были исследованы на наличие признаков растворения, истирания, изменения окраски и фрагментации. Находки раковин в двух створках указывали на их нахождение *in situ*. Для реконструкции голоценовых условий среды в Северном Каспии использованы данные об экологии таксонов. Виды рода *Didacna* Eichwald являются руководящими для Каспийского моря [Янина, 2005].

Образцы для диатомового анализа отобраны из всех литологических слоев, всего проанализировано 13 образцов. Пробы были высушены на воздухе, а затем обработаны стандартными методами [Smol et al., 2001]. Из глинистых и суглинистых литологических разностей отобрано около 5 г сухого материала, из песчаных – 20 г. Для удаления органических веществ и карбонатов каждую пробу помещали в термостойкий стакан и кипятили в 400 мл 10% перекиси водорода (H₂O₂) в течение 1,5 ч. После термической обработки пробы были залиты дистиллированной водой до 900 мл и оставлены под вытяжкой на 48 ч. Далее весь песчаный материал и частицы глинистой фракции постепенно удалялись отмучиванием. Для приготовления временных препаратов использовалась пипетка объемом 1 мл: суспензия, содержащая диатомовые водоросли, с помощью пипетки помещалась на обезжиренное сухое покровное стекло и далее высушивалась при комнатной температуре на горизонтальной поверхности. Для создания постоянных препаратов покровные стекла

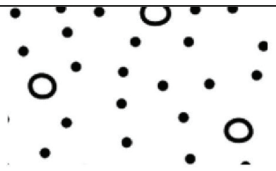
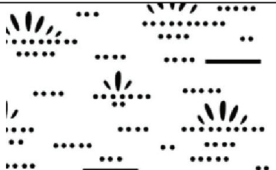
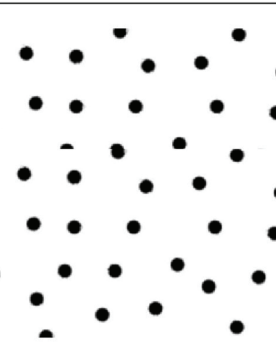
Интервал, м	Условные обозначения	№ слоя	Литологическое описание
0,30–0,0		7	Песок мелкозернистый бежево-серый, пылеватый, с обилием раковинного детрита и включениями целых раковин моллюсков, граница с нижележащим слоем четкая, резкая
0,80–0,30		6	Алевроит красновато-коричневый, с глинистыми прослоями и пятнами ожелезнения, обогащенный растительными остатками
1,20–0,80			– (керн утерян)
2,07–1,20		5	Песок мелкозернистый, пылеватый, коричневатого-серый, с включениями мелких раковин моллюсков и раковинного детрита, переход к нижележащему слою постепенный
2,57–2,07		4	Алевроит темно-коричневый, с прослоями мелкозернистого песка, с включениями мелких раковин моллюсков и раковинного детрита
2,57–3,00		3	Алевроит темно-коричневый, без видимых включений
3,13–3,00			–
3,13–3,54		2	Песок беловато-серый, карбонатный, с редкими включениями мелких обломков раковин моллюсков
3,70–3,54			–
4,10–3,70		1	Песок мелкозернистый, пылеватый, бежевый, без видимых включений
4,30–4,10			–
5,70–4,30		1	Песок мелкозернистый, пылеватый (аналогичный вышележащему слою)
6,30–5,70			–
8,00–6,30		1	Песок мелкозернистый, пылеватый (аналогичный вышележащему слою)
9,20–8,00			–
9,50–9,20		1	Песок мелкозернистый, пылеватый, бежевый, с редкими включениями мелких обломков раковин

Рис. 2. Литологическое описание керна скважины Рыбачья
Fig. 2. Lithologic description of the Rybachya core

фиксируются на предметных стеклах с помощью синтетической смолы Naphrax с показателем преломления 1,68. Таксономическое определение диатомей на основе изучения структуры их створок в постоянных препаратах произведено с помощью светового микроскопа JENVAL (Carl Zeiss) с масляным иммерсионным объективом при увеличении в 1000 раз. Для определения видовой принадлежности диатомей использован ряд определителей [Куликовский и др., 2016; Hartley et al., 1996]. Контроль актуальности названий таксонов проводился с помощью электронной базы данных [AlgaeBase, 2020].

Для целей микрофаунистического анализа 13 образцов были подготовлены по стандартным методикам [Ivanova et al., 2015]. Образцы предварительно замачивались в течение часа, а затем промывались через сито с размером ячейки 63 мкм. Оставшаяся фракция высушивалась на воздухе, после чего материал из фракций размером 0,1–2 и 0,063–0,1 мм исследовался с помощью бинокулярного микроскопа. Створки остракод по возможности идентифицированы до вида. Подготовленные образцы остракод хранятся в камерах Кранца.

Биостратиграфические зоны выявлены на основе качественных и количественных изменений ископаемых фоссилий, наблюдаемых в керне. Для установления указанных зон использовалась информация о таксономическом разнообразии, доминирующих видах, концентрации створок (параметр рассчитан только для диатомей, млн створок/г сухого вещества) и экологических характеристиках видов. Установленные нами биостратиграфические зоны являются экологическими зонами или экзонами.

По двум образцам (интервалы 1,73–1,96 и 2,07–2,11 м) выполнено радиоуглеродное датирование в лаборатории геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана СПбГУ (лабораторный индекс ЛУ) сцинтилляционным методом. В качестве материала для датирования использованы раковины моллюсков *Monodacna caspia* и *Dreissena polymorpha*. Для калибровки радиоуглеродных дат в календарный возраст ($\pm 2\sigma$) использовались программа OxCal 4.4.4 и шкала IntCal20.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты гранулометрического анализа. В отложениях скважины Рыбачья на основе распределения гранулометрических показателей выделено пять групп образцов (рис. 3).

Первая группа приурочена к основанию скважины и включает образцы из интервалов 9,40–9,50, 6,3–6,40 и 4,20–4,40 м. Для этой группы характерно бимодальное распределение размерностей частиц.

Преобладают мелкозернистые пески (60–70%), в то время как размерности алеврита в среднем не превышают значений 11–13%. Кумулятивные кривые и график распределения размерности частиц для указанных образцов практически совпадают. Это говорит о формировании осадков в схожих высокоэнергетических средах (например, деятельность волн) с дополнительным источником мелкого алеврита.

Вторая группа представлена образцами из интервалов 2,99–3,54 и 2,23–2,37 м. Для нее характерно бимодальное распределение с преобладанием более тонких размерностей: крупного алеврита (48%), среднего алеврита (15%) и мелкого алеврита (10%). Следовательно, осадки этой группы формировались в водоеме с более спокойным режимом, чем отложения в основании скважины. Для образца 2,99–3,54 м важно учитывать, что карбонатный матрикс, составляющий большую часть объема материала, был растворен в ходе подготовки проб.

В третью группу объединены образцы из интервалов 2,15–2,20 и 1,73–1,96 м, которые, наряду с образцами первой группы из основания скважины, содержат значительное количество мелкозернистого песка. Доля мелкозернистых песков увеличивается вверх по разрезу от 48 до 67%. Пик мелкозернистого песка на кривой распределения частиц менее симметричный по сравнению с образцами первой группы из-за примеси крупного алеврита (до 24%). Вероятнее всего, условия осадконакопления соответствуют переходной обстановке от застойного водного режима к осадконакоплению в более высокодинамичной водной среде.

К четвертой группе отнесен один образец из интервала 0,30–0,80 м, так как его график распределения частиц резко отличается от остальных образцов. Он характеризуется бимодальным распределением с двумя пиками, близкими по размерности частиц: крупный алеврит (40%) и мелкий алеврит (31%). Содержание среднего алеврита не превышает 15%. Также для этого интервала характерна наибольшая доля глинистой фракции – 10%. Таким образом, можно с уверенностью реконструировать застойную водную обстановку осадконакопления.

Пятая группа также представлена одним образцом из интервала 0,20–0,30 м и в целом сопоставима со второй группой по преобладанию мелкозернистых песков (83%), свидетельствующих о высокоэнергетической обстановке. Однако в этом интервале встречаются также средне- и крупнозернистые пески (до 16% в сумме), в то время как фракции мелкого алеврита и глины практически отсутствуют (0,6 и 0,2%) соответственно. Это говорит о лучшей сортировке осадка, которая может являться результатом более интенсивного воздействия волн, чем в обстановке первой группы, выделенной в основании скважины.

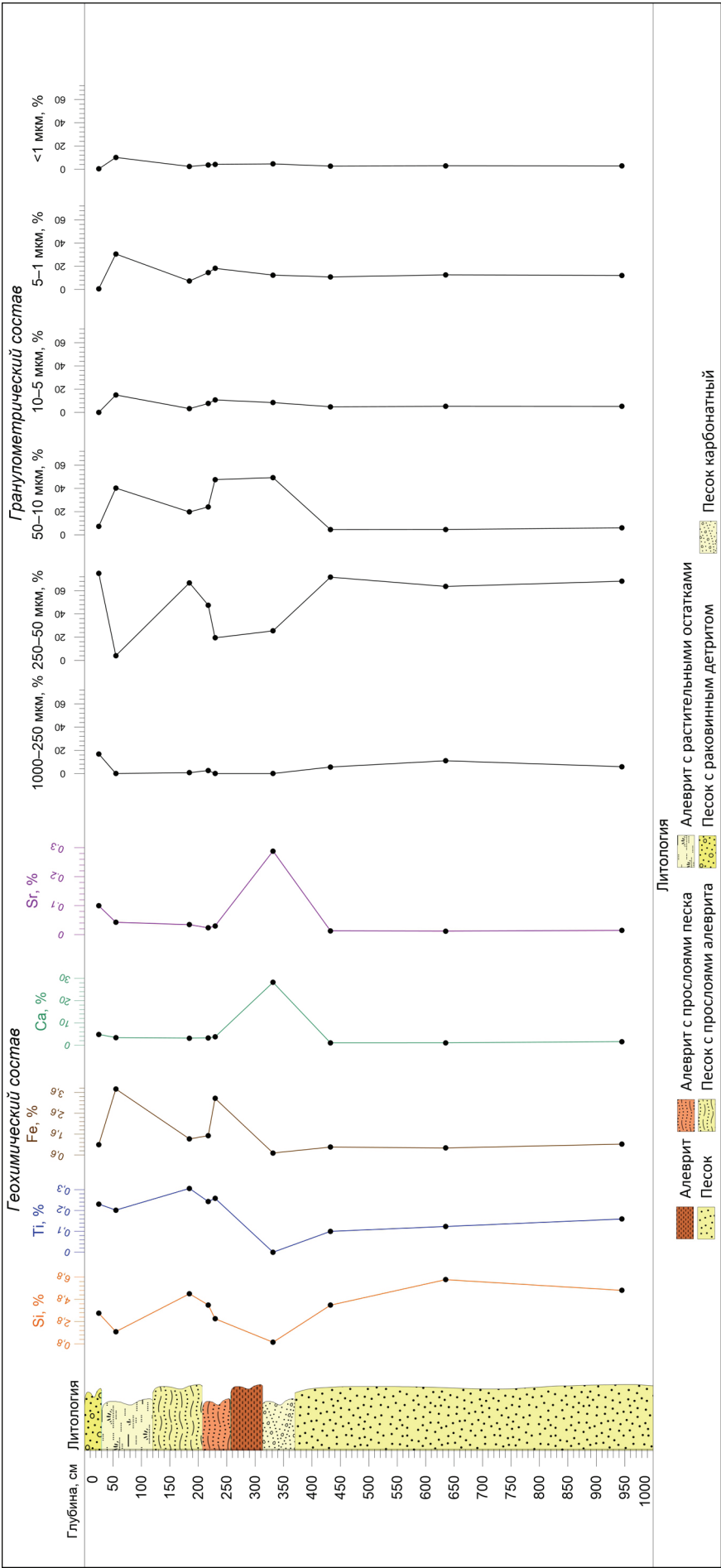


Рис. 3. Результаты геохимического и гранулометрического анализов отложений из скважины Рыбачья
Fig. 3. Results from geochemical and grain size analyses of the sediments from the Rybachya core

Результаты геохимического анализа. Полученные содержания элементов Si, Ca, Sr, Fe и Ti представлены на рисунке 2. В геохимическом составе образцов керн преобладают элементы Si, Fe и Ca. Для стратиграфии позднего плейстоцена и голоцена Прикаспийского региона также важно учитывать совместное распределение Fe, Al и Ti. Согласно ряду исследований [Лобачева и др., 2021], повышенное содержание Fe, Al и Ti характерно для нижнехвалынских отложений, особенно если оно наблюдается в глинистых и алевроитовых фракциях. По обобщенным данным бурения в Дербентской и Южно-Каспийской котловинах, в голоценовых отложениях концентрация Fe варьирует в пределах 0,9–5,07% [Kozina et al., 2022]. В изученной скважине наблюдаются повышенные содержания Fe и Ti: концентрация Fe составляет от 1,1 до 3,79%; для Ti – от 0,23 до 0,31%. Кроме того, повышение концентрации Fe тяготеет к интервалам с преобладанием (более 80%) алевроитовых и глинистых фракций: 2,23–2,37 и 0,30–0,80 м. Эти факты в совокупности могут свидетельствовать о раннехвалынском возрасте отложений. Для нижней части скважины, представленной преимущественно мелкозернистыми песками, характерно повышение содержания Si, что может быть связано с интенсивным терригенным стоком. Резкое повышение концентрации Ca (до ~28%) наблюдается в карбонатных песках в интервале 2,99–3,54 м.

Результаты малакофаунистического анализа. Малакофауна в осадках керн представлена немногочисленными (16) видами, предпочитающими бассейны, характеризующиеся разным гидрологическим и гидрохимическим режимом (рис. 4).

Руководящие для биостратиграфического расчленения осадков виды рода *Didacna* Eichwald (за исключением одного неопределимого обломка) отсутствуют. Образцы из нижней песчаной толщи (ниже 3,70 м) не содержат раковин моллюсков. Встречается лишь единичный неопределимый детрит. В осадках залегающего выше слоя (образец из интервала 3,50–3,13 м) преобладают *Theodoxus pallasi*, сравнительно редки *Dreissena polymorpha* и *Lymnaea stagnalis*. Малакофаунистическое сообщество включает представителей пресноводной фауны, приспособившейся к обитанию в опресненных каспийских водах (*T. pallasi* и *D. polymorpha*), и озерный вид *L. stagnalis*.

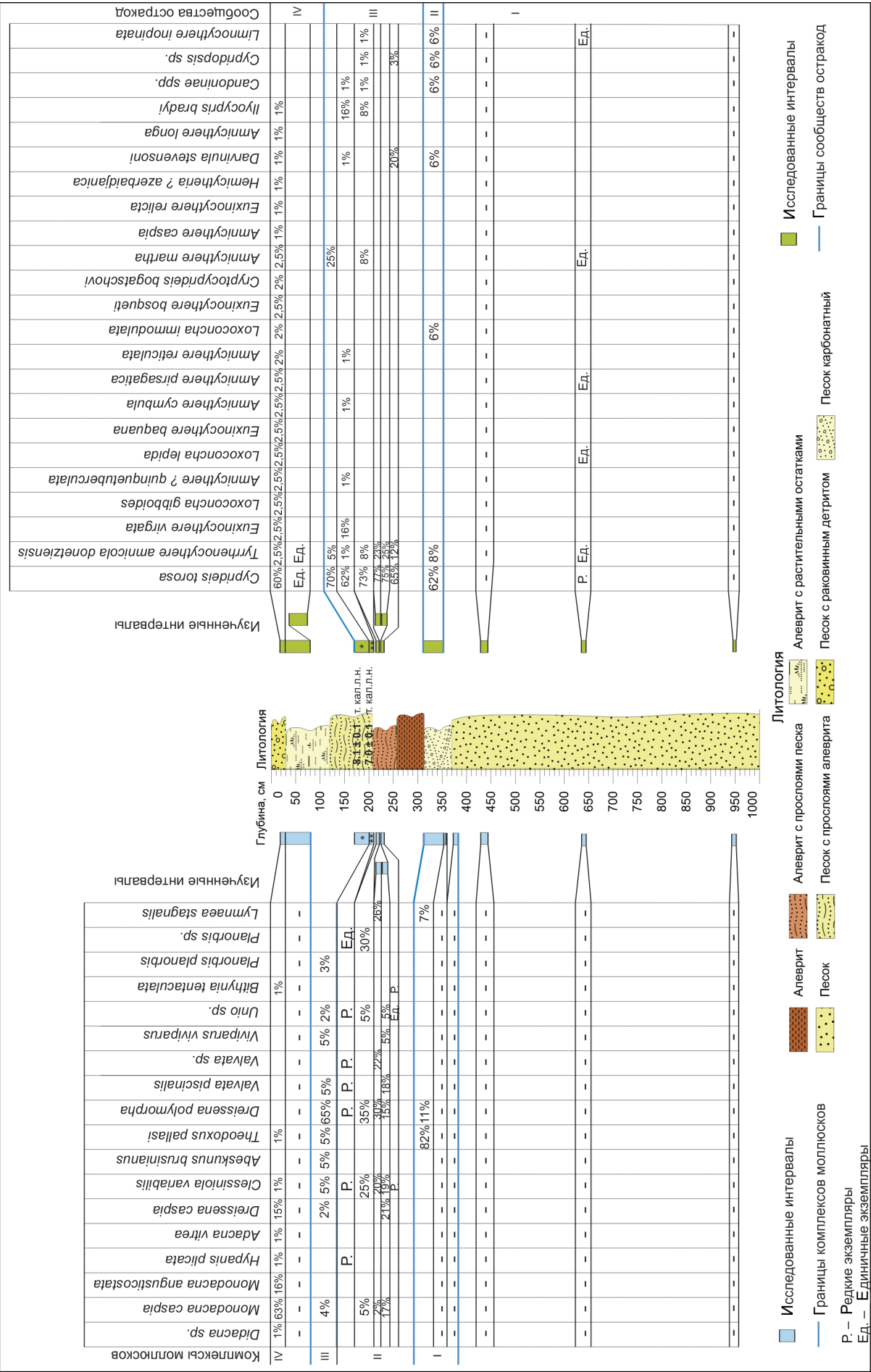
В образце из интервала 2,34–2,25 м многочисленны *Monodacna caspia* и *D. polymorpha*, встречаются *Dreissena caspia*, *Clessiniola variabilis*, *Unio* sp. (мелкие обломки), *Viviparus* sp. (обломки), *Valvata piscinalis*. Малакофаунистическое сообщество представляет собой смесь каспийских слабосолоноватоводных и пресноводных видов.

В интервале 2,27–2,23 м содержатся очень редкие раковины *Bithynia tentaculata*, *C. variabilis*, мелкие обломки раковин *Unio*. Сообщество также охарактери-

зовано каспийскими слабосолоноватоводными и пресноводными видами. В интервале 2,20–2,16 м раковинный материал редкий. Это представители каспийских слабосолоноватоводных и пресноводных видов *Monodacna caspia*, *Clessiniola variabilis*, *Dreissena polymorpha*, *Unio* sp. (мелкие обломки) и *Planorbis* sp. (обломки). Образец из интервала 2,22–2,14 м включает многочисленные раковины *D. polymorpha*, единичные *C. variabilis*, *Lymnaea stagnalis*, *M. caspia*, обломок *Valvata* sp. Сообщество представлено пресноводными и слабосолоноватоводными видами с преобладанием пресноводных; один вид (*L. stagnalis*) лимнофильный.

В интервале 2,11–2,07 м содержатся редкие целые и мелкие обломки раковин *Dreissena polymorpha*, *Hypanis plicata*, *Valvata piscinalis*, *Clessiniola variabilis*, *Unio* sp., *Valvata* sp., *Planorbis* sp. Преобладают пресноводные виды. Интервал 1,96–1,73 м охарактеризован *Viviparus viviparus*, *V. piscinalis*, *Planorbis planorbis*, *Unio* sp. (обломки), *D. polymorpha*, *Dreissena caspia*, *Monodacna caspia*, *C. variabilis*, *Theodoxus pallasi*, *Abescunia bruciana*. В малакофаунистическом сообществе преобладают пресноводные виды, в примеси – каспийские виды, приспособившиеся к обитанию в значительно опресненных водах. В интервале 0,80–0,30 м содержится лишь единичный неопределимый детрит. Осадки интервала 0,30–0,20 м включают *M. caspia* (раковины вида преобладают), *Monodacna angusticostata* (многочисленные), *D. caspia* (многочисленные), редкие раковины *Hypanis plicata*, *Bithynia tentaculata*, *T. pallasi*, *Adacna vitrea*, *C. variabilis*, *Didacna* sp. (мелкие обломки). В сообществе господствуют каспийские слабосолоноватоводные виды.

В составе малакофауны из изученных образцов керн по экологической принадлежности установленных сообществ выделяются четыре комплекса: 1) комплекс в интервале 3,54–3,13 м, отвечающий опресненным каспийским условиям со значительным влиянием пресных вод. Присутствие лимнофильного вида *Lymnaea stagnalis* позволяет предположить озерный, значительно опресненный дельтовый водоем в условиях снижения уровня моря; 2) комплекс в интервале 2,34–2,14 м, представленный смесью каспийских слабосолоноватоводных и пресноводных видов. Внутри выделенного интервала в составе комплекса наблюдаются незначительные колебания в сторону увеличения или уменьшения количества пресноводных видов, отражающих незначительную внутреннюю динамику бассейна; 3) комплекс в интервале 2,11–1,73 м, он отличается преобладанием пресноводных видов, в примеси каспийские виды, приспособившиеся к обитанию в значительно опресненных водах; 4) комплекс в интервале 0,30–0,20 м, характеризующийся преобладанием каспийских слабосолоноватоводных видов, является характерным для современного Северного Каспия.



Результаты диатомового анализа. По результатам диатомового анализа в осадках керна выявлено 95 видов диатомей, подавляющее большинство из них относятся к пресноводным, реже – пресноводно-солонатоводным. Типично морские виды обнаружены в верхней части керна. На основе данных о таксономическом разнообразии, преобладающих видах, концентрации створок диатомовых водорослей (млн створок/г сухого вещества) и экологических предпочтениях видов в разрезе было выявлено пять диатомовых зон (ДЗ, рис. 5). Для каждой зоны реконструированы условия осадконакопления, которые представлены как пресноводными обстановками мелких заливов и дельтовых протоков, так и лагунными и морскими обстановками. Диатомовые зоны очень сильно отличаются по параметру концентрации створок диатомей, значение которого изменяется по разрезу от 0,34 до 25,2 млн ств./г. Ниже 3,90 м диатомей в образцах не обнаружены.

ДЗ I (3,90–3,80 м) выделена в верхней части толщ песков, за исключением которой эти пески совершенно лишены диатомей. Зона выделена на основе присутствия единичных створок пресноводных видов: *Fragilaria capucina*, *Aulacoseira granulata*, *Cocconeis placentula*, *Stephanocyclus meneghinianus*, *Stephanodiscus astraia* var. *intermedia*, *Synedra capitata*. Количество обнаруженных экземпляров диатомей не позволяет произвести корректный расчет концентрации створок. Малое количество обнаруженных экземпляров диатомей может свидетельствовать об интенсивном осадконакоплении, препятствующем формированию тафоценозов.

ДЗ II (3,50–2,99 м) выделена в толще алевритов на основе высокой доли бентосных и перифитонных видов, которая увеличивается вверх по разрезу от 85 до 100%, и относительно высокой концентрации створок диатомей, увеличивающейся по мере осадконакопления от 1,8 до 13,2 млн ств./г. Нижняя часть интервала характеризуется наибольшим видовым разнообразием среди всех изученных образцов (40 таксонов) и преобладанием пресноводных бентосных алкалифильных видов *Amphora copulata* (16%), *F. capucina* (8%) и *Gomphonella olivacea* (8%) и присутствием планктонных диатомей *Aulacoseira granulata* (7%), *Aulacoseira italica* (2,5%). Выше по разрезу резко увеличивается доля перифитонных видов рода *Epithemia* (до 60%), среди которых нередко встречаются частично растворенные створки. Перечисленные таксоны и их процентное соотношение позволяет предположить обстановку распресненной лагуны. Начало формирования осадка диатомовой зоны по составу диатомовых ассоциаций отвечает более проточным условиям с повышенной щелочностью вод. Судя по увеличению доли бентосных видов вверх по разрезу, водо-

ем постепенно приобретал более спокойный гидродинамический режим. Большая доля растворенных створок диатомей рода *Epithemia*, увеличение содержания алкалифилов и алкалибионтов и уменьшение видового разнообразия диатомей (с 38 до 9 в верхнем горизонте) может говорить об увеличении pH среды (до щелочных значений) и уменьшении сохранности створок. Вероятнее всего, осадок формировался в сильно опресненной мелкой лагуне, на участке, удаленном от прибойной зоны.

ДЗ III (2,37–1,73 м) выделяется в толще алевритов, постепенно переходящих в мелкозернистый песок с примесью алеврита вверх по разрезу. Зона выявлена на основе иного состава доминирующих видов и наибольшей средней концентрации створок диатомей, которая изменяется от 1,0 до 25,2 млн ств./г. Состав преобладающих пресноводных диатомей в образцах этой диатомовой зоны соответствует авандельтовым комплексам (проток, ильменей): *Amphora copulata* (5–24%), *Stephanocyclus meneghinianus* (5–17%), *Aulacoseira granulata* (5–15%), *Aulacoseira italica* (5–6%), *Cocconeis lineata* (3–20%). На глубине 2,23–2,37 м доминирует ацидофильный бентосный вид *Navicula avenacea* (19%), что может свидетельствовать о застойных условиях и активных процессах разложения органики, способствующих формированию кислой среды. В этом же интервале наблюдается максимальная концентрация створок диатомей, что говорит о наиболее благоприятных условиях для их развития. Наибольшая доля планктонных видов зафиксирована в интервале 2,07–2,11 м (38,8% при средних значениях 14–18%), характеризует более проточную стадию развития пресного водоема. Формирование осадков этой диатомовой зоны происходило при некотором выдвигании дельты в результате регрессии Северного Каспия.

ДЗ IV (0,80–0,30 м) выделяется в толще алевритов с примесью глин и характеризуется преобладанием морского бентосного вида *Lyrella lyra* (43%), массовое присутствие которого обнаруживается только в этом интервале. Концентрация створок диатомей сократилась до 0,8 млн ств./г. Субдоминантом является бентосный индифферентный алкалифильный вид *Craticula cuspidata* (14%), около 7% створок приходится на бентосный солонатоводный эвригалинный вид *Amphora commutata*. Также встречаются частично растворенные створки диатомей родов *Epithemia* и *Eunotia*. Судя по преобладанию створок бентосных диатомей и гранулометрическому составу осадка, его формирование происходило в мелком солонатоводном водоеме с низкой гидродинамикой. Повышенное содержание створок алкалифильных диатомей и низкая сохранность некоторых створок может свидетельствовать о щелочной реакции вод.

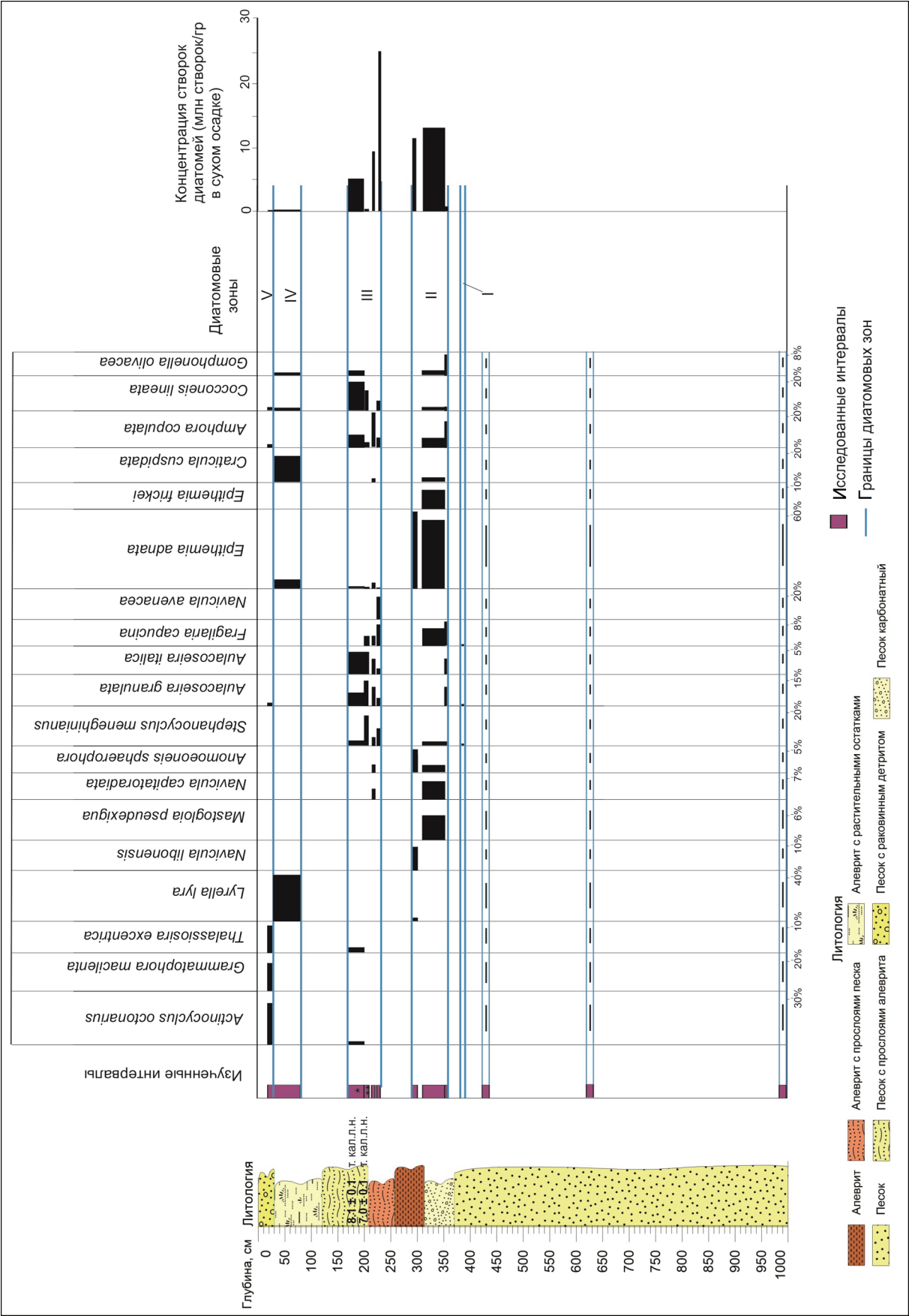


Рис. 5. Результаты диатомового анализа отложений из скважины Рыбачья. Показаны только преобладающие виды

Fig. 5. Results from diatom analysis of the sediments from the Rybachya core. Only dominant species shown

ДЗ V (0,30–0,20 м) выделяется в песке с раковинным детритом по наименьшей концентрации сворков (0,3 млн ств./г) и повышенному содержанию типичных для Каспия морских планктонных видов: *Actinocyclus octonarius* (30%, доминант) и его разновидность *Actinocyclus octonarius* var. *tenellus* (4%), *Thalassiosira eccentrica* (9%), *A. curvatulus* и *Coscinodiscus perforatus* (по 2%). Субдоминантом в данном интервале является морской бентосный вид *Grammatophora macilenta* (17%), приспособившийся к существованию в сильно опресненных водах Северного Каспия. Судя по преобладанию планктонных диатомей (56%) и экологическим предпочтениям преобладающих видов, осадконакопление происходило в солоноватоводно-морском бассейне с активной гидродинамикой.

Результаты микрофаунистического анализа.

Суммарно в образцах керна скважины нами выявлено 23 вида остракод. По типу среды обитания их можно разделить на две основные группы – пресноводные (4 вида) и каспийские или солоноватоводные (19 видов). Ниже 6,4 м остракоды в образцах не обнаружены. Микрофаунистический состав остракод позволяет выделить четыре этапа смены сообществ, каждый из которых соотносится со сменой природных условий в течение голоцена.

Сообщество I описано на глубинах 6,40–6,30 м. Оно характеризуется преобладанием видов *Cyprideis torosa* и *Tyrrhenocythere amnicoladonetziensis*. В целом микрофаунистический состав напоминает современный состав Каспия, он формировался в морских условиях, однако соленость, вероятно, была ниже, чем в настоящее время. Сохранность остракод *Limnocythere inopinata* связана с высокой скоростью осадконакопления, высокой смертностью и/или хорошей сохранностью створок в условиях повышенных глубин. Следов переотложения не отмечается. Мы предполагаем, что накопление этой толщи происходило в трансгрессивную стадию Каспийского моря.

Вышележащее сообщество II описано в интервале 3,50–2,99 м и представлено комплексом с высоким содержанием пресноводных видов остракод. В указанном интервале встречается лишь два солоноватоводных вида, в целом же все обнаруженные виды остракод приспособлены к выживанию в широком температурном диапазоне и обитанию в мелководных опресненных водоемах. Такой комплекс типичен для прибрежных зарослей и небольших многолетних водоемов. *Cyprideis torosa* достигает здесь максимальной численности. Кроме того, здесь широко представлены ювенильные стадии этого вида. А. Дж. Смит и Дж. Х. Хорн [Smith, Horne, 2002] отмечают, что это может указывать на переходное состояние от морских к пресноводным

условиям. Кроме того, на пресноводные условия явно указывает присутствие многочисленных *Darvinula stvensoni*, вида толерантного к низкой солености и опреснению, а также *Candona* spp., современные формы которой являются обитателями опресненных водоемов. Мы предполагаем накопление рассмотренной толщи в условиях опресненного водоема застойного типа во время регрессивного состояния Каспийского моря.

Выше, на глубине 2,50 м, сообщество II сменяется сообществом III, которое в целом можно охарактеризовать как солоноватоводное с примесью пресноводных видов. Соленость, как и глубина бассейна, существовавшего в этом месте во время накопления толщи в интервале 1,73–2,50 м, были ниже, чем в современном Каспийском море. На фоне общего преобладания солоноватоводных видов отмечается периодическое повышение содержания раковин таких пресноводных видов остракод, как *Ilyocypris bradyi* и *D. stvensoni*. Такой состав микрофауны остракод может свидетельствовать о сложной внутренней динамике в ходе трансгрессивного этапа.

Сообщество IV описано по донным отложениям Каспийского моря в интервале глубин от 0,20 до 0,30 м. Оно представляет собой типичный для Северного Каспия современный микрофаунистический комплекс видов с преобладанием *C. torosa*, *Tyrrhenocythere amnicoladonetziensis*, более стеногадных *Cryptocyprideis bogatschovi* (12,5–13,25%), *Euxinocythere baquana* (11,5–13%), *Amnicythere? quinquetuberculata* (11,5–13%) и др. Редкие *I. bradyi*, *D. stvensoni* или *Amnicythere longa* и *Amnicythere cymbula*, в настоящее время распространенные в эстуариях Черного моря на глубинах до 5 м, указывают на значительное речное влияние и близость дельты Волги к району исследований.

Результаты радиоуглеродного датирования.

Полученные даты соответствуют радиоуглеродным возрастам 7240 ± 110 л. н. в интервале глубин 1,73–1,96 м и 6140 ± 110 л. н. в интервале 2,07–2,11 м. Калиброванные с помощью кривой «IntCal 20» даты составляют 8070 ± 110 кал. л. н. и 7020 ± 140 кал. л. н. соответственно.

Как было указано выше, основные голоценовые события Северного Каспия – мангышлакская регрессия и новокаспийская трансгрессия. Относительно высокая теплообеспеченность и аридизация климата [Борисова, 2014] положили начало регрессивному тренду в Каспийском море в раннем голоцене. На осушенной территории шельфа развивалась эрозия, что привело к образованию палеодолин. Согласно сейсмоакустическим данным, мангышлакской регрессии соответствуют следующие формы рельефа дна Северного Каспия: врезанные речные долины и субширотные линейные впадины,

напоминающие ильмени современной дельты Волги [Безродных и др., 2017]. Как правило, мощность голоценовых отложений не превышает 2 м в пределах изучаемой территории [Безродных и др., 2017; Чеховская и др., 2018]. Наши данные по результатам изучения моллюсков, диатомовых водорослей и остракод позволили реконструировать условия среды, не типичные для морского шельфа. Это привело к предположению, согласно которому скважина Рыбачья была заложена в пределах палеопонижений, широко распространенных в Северном Каспии, которые описаны Ю.П. Безродных и В.М. Сорокиным [Bezrodnykh, Sorokin, 2016].

Сопоставив стратификацию керна по экотонам, гранулометрии и литологии, мы выделили пять этапов осадконакопления. Каждый этап включает экотон со сходными условиями (рис. 6).

В отложениях начального этапа отмечается высокое содержание кремния, что может быть связано с дельтовыми и прибрежными фациями трансгрессивного этапа раннехвалынского бассейна. Геохимические маркеры (Fe и Ti) также подтверждают раннехвалынский возраст этих отложений. Гранулометрические данные свидетельствуют о высокоэнергетической среде с дополнительным источником мелкого алеврита. Отсутствие раковин моллюсков подтверждает интенсивную гидродинамику среды осадконакопления. Низкая концентрация диатомей обусловлена высокой скоростью осадконакопления. Комплекс остракод указывает на существование бассейна с большими глубинами и более низкой соленостью, чем в современном Каспийском море, что соответствует характеристикам раннехвалынского бассейна. Эти выводы не оставляют сомнений в раннехвалынском возрасте отложений начального этапа осадконакопления.

Позднехвалынские отложения не выявлены нашими методами. Мы предполагаем, что отложения выше 3,7 м формировались в обстановках, нетипичных для морского бассейна. Позднехвалынские отложения могли быть размыты эрозионной деятельностью водотоков во время мангышлакской регрессии. В результате сформировалось палеопонижение, постепенно заполнявшееся осадками, обстановки которых реконструируются по биостратиграфии. Таким образом, голоценовые осадки накапливались в понижении поверх раннехвалынской толщи с разрывом позднехвалынских отложений.

Выделено три голоценовых этапа заполнения палеопонижения, соответствующих трем событиям внутри новокаспийской трансгрессии, и один этап осадконакопления, схожий с современными обстановками Северного Каспия. По данным разных авторов, возраст начала новокаспийской трансгрессии оценивается в 10550 [Bezrodnykh, Sorokin, 2016]

и 9500 кал. л. н. [Kakroodi et al., 2015], окончание первого этапа трансгрессии – около 5600 кал. л. н. [Безродных и др., 2018].

По нашим данным, отложения первого этапа осадконакопления древнее 8–7 кал. л. н. и формировались после мангышлакской регрессии. Наличие видов моллюсков, приспособленных к обитанию в опресненных каспийских водах, высокая численность пресноводных бентосных диатомей, а также присутствие пресноводных и эвригалинных видов остракод предполагают обстановки опресненного водоема озерного типа во время начальной стадии осадконакопления в палеопонижении. *Cyprideis torosa* достигает максимальной численности в условиях крайне изменчивой солености вод, характерной для перехода от морских условий к пресноводным. Современные формы *Candoninae* spp. считаются обитателями опресненных водоемов. Увеличение концентрации диатомовых водорослей предположительно является результатом повышения концентрации биогенных элементов при увеличении речного стока. Литологические характеристики осадка (карбонатные пески) указывают на мелководные условия. Повышенные концентрации Ca и Sr могут свидетельствовать как о повышении солености и температуры в Каспийском бассейне, так и об увеличении речного стока. По данным биостратиграфических методов, происходило увеличение стока рек, что привело к опреснению водоема.

Таким образом, за подъемом уровня моря (в рамках осцилляции) в раннем голоцене последовало его падение и изоляция палеопонижения, в результате чего на первом этапе осадконакопления реконструируются пресноводные обстановки. Иными словами, реконструированы отложения не максимума трансгрессии, а водоема, сформировавшегося при отступлении моря. Обособление палеопонижения сопровождалось процессом заполнения депрессии пресными водами. После перехода от морских условий к пресноводным спокойные обстановки небольшого многолетнего водоема способствовали накоплению карбонатов. Для участка в Северном Каспии вблизи скважины Рыбачья [Чеховская и др., 2018] были получены схожие результаты: сопоставимые отложения формировались в более мелководных и опресненных условиях, чем современные.

На втором этапе осадконакопления реконструировано повышение уровня Каспийского моря. Радиоуглеродные датировки около 8–7 кал. л. н. соответствуют ранненовокаспийскому времени. Гранулометрический состав демонстрирует смену алевритистых отложений, сформировавшихся в более застойных условиях, на мелкозернистые пески с примесью алеврита, что соответствует переходной обстановке осадконакопления от спокойного водного режима к более динамичному.

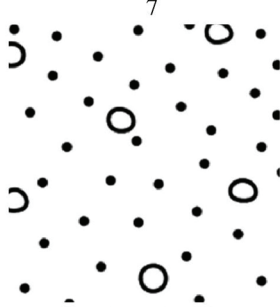
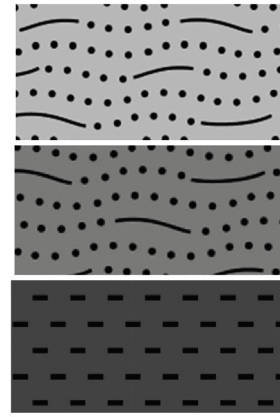
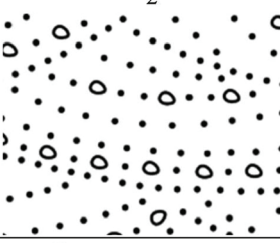
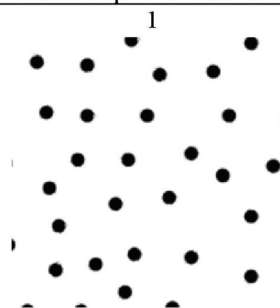
Этапы осадконакопления	№ литологического слоя, условное обозначение	Экозоны по биостратиграфии; № групп образцов по granulometрии	Краткое описание этапа
Четвертый (0,30–0,00 м)	7 	(4) комплекс моллюсков, сообщество остракод IV, ДЗ V; 5-я группа	Заключительный этап новокаспийской трансгрессии. Условия, близкие к современным на шельфе Северного Каспия. Более глубокий и соленый бассейн, чем на третьем этапе, однако отмечается опресняющее влияние стока Волги. Высокоэнергетическая среда осадконакопления
Третий (0,80–0,30 м)	6 	ДЗ IV; 4-я группа	Относительная стабилизация уровня моря. Уровень моря и соленость ниже современного Северного Каспия. Обстановки солоноватоводной мелководной лагуны
Второй (2,99–1,20 м)	3, 4, 5 	(2) и (3) комплексы моллюсков, сообщество остракод III, ДЗ III; 2-я и 3-я группы	Повышение уровня моря, заполнение палеопонижения около 8070±110 кал. л.н. – 7020±140 кал. л.н. на фоне длительного потепления и увлажнения. Пресный или слегка солоноватоводный водоем (динамичность соленостных условий); в целом переход от более спокойных обстановок к более динамичным
Первый (3,54–2,99 м)	2 	(1) комплекс моллюсков, сообщество остракод II, ДЗ II; 2-я группа	Отступление моря во время осцилляции его уровня. Изоляция палеопонижения. Условия небольшого многолетнего пресного водоема; более мелководные и более пресные, чем условия на шельфе современного Северного Каспия
Размыв верхнехвалыньских отложений во время мангышлакской регрессии, формирование палеопонижения			
Начальный (9,50–3,70 м)	1 	ДЗ I, сообщество остракод I; 1-я группа	Трансгрессионный этап раннехвалыньского бассейна. Бассейн с большей глубиной и меньшей соленостью, чем современный Северный Каспий. Высокоэнергетическая среда осадконакопления, прибрежные фации

Рис. 6. Этапы осадконакопления, реконструированные в скважине Рыбачья

Fig. 6. Stages of sedimentation reconstructed in the sediments from the Rybachya core

Комплекс моллюсков содержит обилие солоноватоводных и пресноводных видов. Присутствие солоноватоводных остракод с примесью пресноводных видов и относительно высокая доля солоноватоводных диатомей свидетельствуют о сложной внутренней гидродинамике во время трансгрессивной стадии Каспия. Похожая динамика ранее реконструирована в близлежащем районе [Чеховская и др., 2018]. На основе геохимических маркеров пресноводные сообщества в алевроитистых отложениях с высокими значениями Fe и Ti могут быть интерпретированы как позднехвалынские. Однако высокая концентрация Fe и Ti в отложениях второго этапа осадконакопления связана с унаследованностью геохимического состава размытых верхнехвалынских отложений.

По литературным данным, заполнение палеопонижений в Северном Каспии происходило в интервале от 11500 до 8000 кал. л. н. [Безродных и др., 2014]. Радиоуглеродные даты, полученные нами, моложе ранее опубликованных. Мы предполагаем более длительный процесс заполнения палеопонижений, начавшийся одновременно с потеплением и увлажнением климата Каспийского региона в период с 8500 до 7600 кал. л. н., выявленным Н.С. Болиховской [2011] на основе палинологических данных.

В керне скважины нам не удалось выявить регрессивные события, разделявшие этапы новокаспийской трансгрессии. Следовательно, нам не удалось подтвердить или опровергнуть взаимосвязь активизации эрозионных процессов с регрессивными этапами Каспия в новокаспийское время. Тем не менее мы предполагаем, что наблюдаемые нами изменения комплексов фауны моллюсков, остракод и диатомей в интервале 0,00–3,54 м характеризуют колебания уровня моря в новокаспийское время, датируемые 5600–3700 и 3080–2300 кал. л. н. [Безродных и др., 2018].

Ввиду отсутствия фаунистических остатков, третий этап осадконакопления охарактеризован только диатомовым анализом. Этот этап характеризуется преобладанием бентосных видов диатомей, что в комплексе с высокой долей алкалифильных и солоноватоводных видов свидетельствует о застойной среде осадконакопления, соответствующей солоноватоводной лагуне. Резкая граница слоя с нижележащим интерпретирована как перерыв в осадконакоплении. Результаты гранулометрического анализа указывают на обстановки бассейна лагунного типа с низкой гидродинамикой. Повышенная доля Fe, тяготеющая к отложениям третьего этапа и характерная для верхнехвалынских толщ, в данном случае связана с лагунными условиями осадконакопления.

Четвертый этап осадконакопления соответствует современной обстановке на шельфе Северного Каспия. Для этого интервала также характерны сравнительно высокие содержания Fe и Ti. В комплексе

моллюсков преобладают каспийские слабосолоноватоводные таксоны, характерные для современного Северного Каспия. Сообщество остракод указывает на условия мелководья и содержит многочисленные эвригалинные виды, устойчивые к пониженной солености, отражающие влияние стока реки Волги в этом районе. Появление типичных морских планктонных видов в комплексе диатомей отражает влияние подъема уровня моря и соответствует наиболее поздней трансгрессивной стадии Каспийского моря, следующей за регрессивным событием после 2300 кал. л. н. [Безродных и др., 2018]. В другой работе [Чеховская и др., 2018] условия осадконакопления во время этого этапа трансгрессии в близлежащем районе описываются как достаточно стабильные, близкие к современному по глубине моря и солености.

ВЫВОДЫ

Палеоэкологические данные, основанные на изучении малакофауны, диатомовых водорослей и остракод, геохимических и гранулометрических данных, позволяют сделать вывод о том, что керн скважины Рыбачья запечатлел изменения условий природной среды в палеопонижении в Северном Каспии, заполнение которого описано на основе комплексного анализа [Berdnikova et al., 2023].

Разнообразие изучаемых групп ископаемых способствует поэтапным палеореконструкциям условий осадконакопления отложений.

В керне содержатся отложения, начиная с нижнехвалынских. Эрозионная деятельность водотоков во время мангышлакской регрессии сформировала в них понижение и способствовала его углублению, что привело к размыву позднехвалынских отложений и врезанию в нижнехвалынские осадки.

По совокупности всех приведенных результатов в отложениях скважины выделяются три голоценовых этапа заполнения палеопонижения, соответствующие трем событиям внутри новокаспийской трансгрессии, а также один этап осадконакопления, схожий с современными обстановками Северного Каспия и, вероятно, соответствующий заключительной трансгрессивной стадии Каспийского моря.

Биостратиграфические данные указывают на квазициклическую изменчивость обстановок осадконакопления по всему керну. Условия голоценового осадконакопления изменяются от изолированного пресноводного бассейна во время регрессивного эпизода новокаспийской эпохи к пресноводным-солоноватоводным условиям динамичного бассейна во время новокаспийских подстадий. Далее следует этап осадконакопления в мелкой солоноватоводной лагуне, завершающийся этапом седиментации в высокоэнергетической среде на шельфе Северного Каспия при опресняющем влиянии стока Волги.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке проектов РФФИ № 20-35-90020 и РНФ № 21-44-04401. Авторы выражают благодарность ООО «Моринжгеология» за предоставление материала керна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Безродных Ю.П., Янина Т.А., Сорокин В.М., Романюк Б.Ф. Строение осадочной толщи голоцена Северного Каспия как отражение изменений климата и уровня моря // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2018. № 5. С. 52–60.
- Безродных Ю.П., Романюк Б.Ф., Сорокин В.М., Янина Т.А. Первые данные о радиоуглеродном возрасте ательских отложений Северного Каспия // Доклады РАН. 2017. Т. 473. № 3. С. 327–330.
- Безродных Ю.П., Делия С.В., Романюк Б.Ф., Федоров В.И., Сорокин В.М., Лукиша В.Л. Мангышлакские отложения (голоцен) Северного Каспия // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2014. Т. 22. № 4. С. 88–108. DOI: 10.7868/S0869592X14040036.
- Болховская Н.С. Эволюция климата и ландшафтов Нижнего Поволжья в голоцене // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2011. Т. 5. № 2. С. 13–27.
- Борисова О.К. Ландшафтно-климатические изменения в голоцене // Известия РАН. Сер. географическая. 2014. № 2. С. 5–20.
- Варуценко С.И., Варуценко А.Н., Клиге Р.К. Изменение режима Каспийского моря и бессточных водоемов в палеовремени. М.: Наука, 1987. 239 с.
- Дорофеев Н.В., Бочкарев А.В., Симонова Е.Б., Филиппова П.Б. Строение, нефтегазоносность и риски освоения нижнемеловых отложений западной части Ракучечно-Широтной системы поднятий // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2015. № 6. С. 18–26.
- Кашинский Н.А. Физика почвы. М.: Высшая школа, 1965. Ч. 1. 320 с.
- Куликовский М.С., Глуценко А.М., Генкал С.И., Кузнецова И.В. Определитель диатомовых водорослей России. Ярославль: Филигрань, 2016. 804 с.
- Лобачева Д.М., Бадюкова Е.Н., Макшаев Р.Р. Литофациальное строение и условия накопления отложений Бэровских бугров Северного Прикаспия // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2021. № 6. С. 99–111.
- Рычагов Г.И. Колебания уровня Каспийского моря: причины, последствия, прогноз // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2011. № 2. С. 4–12.
- Рычагов Г.И. Плейстоценовая история Каспийского моря. М.: Изд-во МГУ, 1997. 268 с.
- Свиточ А.А., Янина Т.А. Четвертичные отложения побережий Каспийского моря. М.: Россельхозакадемия, 1997. 268 с.
- Судакова Н.Г., Антонов С.И., Болховская Н.С., Введенская А.И., Немцова Г.М. и др. Проблемы корреляции разрезов новейших отложений ледниковой и перигляциальной зон на востоке Среднерусской возвышенности. Деп. ВИНТИ. М.: ВИНТИ (№ 3299-B95), 1995. С. 1–46.
- Чеховская М.П., Зенина М.А., Матюль А.Г., Степанова А.Ю., Раковски А.З. Реконструкция палеообстановки в голоцене на северном шельфе Каспийского моря по остракодам // Океанология. М.: Наука, 2018. Т. 58. № 1. С. 89–101.
- Янина Т.А. Эволюция природной среды Понто-Каспия в условиях глобальных изменений климата в позднем плейстоцене // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2013. № 1. С. 3–16.
- Янина Т.А. Дидакны Понто-Каспия. М.; Смоленск: Маджента, 2005. 300 с.
- Bezrodnykh Y.P., Sorokin V.M. On the age of the Mangyshlak deposits of the northern Caspian Sea, *Quaternary Research*, 2016, vol. 85, p. 245–254, DOI: 10.1016/j.yqres.2016.01.004.
- Berdnikova A.A., Lysenko E.I., Makshaev R.R., Zenina M.A., Yanina T.A. Multidisciplinary Study of the Rybachya Core in the North Caspian Sea during the Holocene, *Diversity*, 2023, vol. 15, p. 150–170, DOI: 10.3390/d15020150.
- Hartley B., Barber H.G., Carter J.R., Sims P.A. *An atlas of British diatoms*, Bristol, Biopress, 1996, 601 p.
- Ivanova E.V., Marret F., Zenina M.A. et al. The Holocene Black Sea reconnection to the Mediterranean Sea: New insights from the northeastern Caucasian shelf, *Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol.*, 2015, vol. 427, p. 41–61, DOI: 10.1016/j.palaeo.2015.03.027.
- Kakroodi A.A., Leroy S.A.G., Kroonenberg S.B., Lahijani H.A.K., Alimohammadian H., Boomer I., Goorabi A. Late Pleistocene and Holocene sea-level change and coastal paleoenvironment evolution along the Iranian Caspian shore, *Marine Geology*, 2015, vol. 361, p. 111–125, DOI: 10.1016/j.margeo.2014.12.007.
- Kostianoy A.G., Kosarev A.N. *The Caspian Sea Environment*, Springer, Berlin, Heidelberg, Germany. 2005, 268 p., DOI: 10.1007/b138238.
- Kislov A.V., Panin A.V., Toropov P.A. Current status and palaeostages of the Caspian Sea as a potential evaluation tool for climate model simulations, *Quaternary International*, 2014, vol. 345, p. 48–55, DOI: 10.1016/j.quaint.2014.05.014.
- Kozina N., Reykhard L., Dara O. Authigenic Minerals of the Derbent and South Caspian Basins (Caspian Sea): Features of Forms, Distribution and Genesis under Conditions of Hydrogen Sulfide Contamination, *Minerals*, 2022, vol. 12, no. 1, p. 87–104, DOI: <https://doi.org/10.3390/min12010087>.
- Smith A.J., Horne J.H. Ecology of marine, marginal marine and nonmarine ostracods, *The Ostracoda: Applications in Quaternary Research*, AGU, Washington, DC, USA, 2002, p. 37–64.
- Smol J.P., Birks H.J., Last W.M. *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments: Terrestrial, Algal and Siliceous Indicators*, Kluwer Academic Publishers, Alphen an den Rijn, The Netherlands, 2001, 327 p.

Электронные ресурсы

- КАСПКОМ (Координационный комитет по гидрометеорологии Каспийского моря), 2023. URL: www.caspcom.com (дата обращения 30.05.2023).
- AlgaeBase, National University of Ireland, Galway, 2020, URL: <https://www.algaebase.org> (дата обращения 10.04.2023).

Поступила в редакцию 25.04.2023

После доработки 16.08.2023

Принята к публикации 06.10.2023

PALAEOECOLOGICAL SITUATION IN PRE-DELTA AREA OF THE NORTH CASPIAN SEA DURING THE HOLOCENE

E.I. Lysenko¹, A.A. Tkach², R.R. Makshaev³, T.A. Yanina⁴, M.A. Zenina⁵

^{1,4} Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geomorphology and Paleogeography

²⁻⁴ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Laboratory of Recent Deposits and Pleistocene Paleogeography

⁴ Saint Petersburg State University, Laboratory of Macroecology and Biogeography of Invertebrates

⁵ P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Science, Laboratory of Paleoceanology

¹ Ph.D. student; e-mail: lenobl1996@gmail.com

² Junior Scientific Researcher; e-mail: alinaberdnikowa@yandex.ru

³ Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: radikm1986@mail.ru

⁴ Professor, Head of the Laboratory, D.Sc. in Geography; e-mail: paleo@inbox.ru

⁵ Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Biology; e-mail: maria_zenina@mail.ru

Palaeoecological reconstructions of pre-delta area of the North Caspian Sea were based on the multidisciplinary study of the core from the Rybachya borehole containing the Holocene deposits. Geochemical, grain size, mollusk fauna, diatom and ostracod analyses were performed, and the radiocarbon dating was carried out. The structure of deposits reflects palaeogeographic events of different scales including the inception of a palaeoincision in the Lower Khvalynian deposits, accompanied by erosion of the Upper Khvalynian deposits; its development during the Mangyshlak regression and gradual filling during the multistage Holocene Neocaspian transgression. The Holocene age of the deposits filling the palaeodepression is confirmed by radiocarbon dates – 8070 ± 110 and 7020 ± 140 cal. BP. The paleontological data indicate the interchange of tranquil and dynamic water regimes and the quasi-cyclical change in the conditions of the water basin, from brackish to freshwater and to marine during the stage of sedimentation, corresponding to the present-day conditions on the North Caspian shelf.

Keywords: Neocaspian deposits, Mangyshlak regression, biostratigraphy, diatoms, mollusk fauna, ostracoda, geochemistry

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 20-35-90020) and the Russian Science Foundation (project 21-44-04401). The authors thank the Morinzhgeologiya LLC (Limited Liability Company) for the core material.

REFERENCES

- Berdnikova A.A., Lysenko E.I., Makshaev R.R., Zenina M.A., Yanina T.A. Multidisciplinary Study of the Rybachya Core in the North Caspian Sea during the Holocene, *Diversity*, 2023, vol. 15, p. 150–170, DOI: 10.3390/d15020150.
- Bezrodnykh Y.P., Sorokin V.M. On the age of the Mangyshlak deposits of the northern Caspian Sea, *Quaternary Research*, 2016, vol. 85, p. 245–254, DOI: 10.1016/j.yqres.2016.01.004.
- Bezrodnykh Y.P., Deliya S.V., Romanyuk B.F., Fedorov V.I., Sorokin V.M., Luksha V.L. Mangyshlakskie otlozheniya (golotsen) Severnogo Kaspiya [Mangyshlak deposits (the Holocene) of the Northern Caspian Sea], *Stratigrafiya, Geologicheskaya korrelyatsiya*, 2014, vol. 22, no. 4, p. 88–108, DOI: 10.7868/S0869592X14040036. (In Russian)
- Bezrodnykh Yu.P., Romanyuk B.F., Sorokin V.M., Yanina T.A. First data on the radiocarbon age of the Atelian deposits in the North Caspian region, *Doklady Earth Sciences*, 2017, vol. 473, no. 1, p. 277–280.
- Bezrodnykh Yu.P., Yanina T.A., Sorokin V.M., Romanyuk B.F. Stroenie osadochnoi tolshchi golotsena Severnogo Kaspiya kak otrazhenie izmenenii klimata i urovnya morya [Structure of the Holocene sedimentary series of the Northern Caspian Sea as a reflection of climate and sea level changes], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2018, no. 5, p. 52–60. (In Russian)
- Bolikhovskaya N.S. Evolyutsiya klimata i landshaftov Nizhnego Povolzh'ya v golotsene [The Holocene evolution of climate and landscapes in the Lower Volga River region], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2011, vol. 5, no. 2, p. 13–27. (In Russian)
- Borisova O.K. Landshaftno-klimaticheskie izmeneniya v golotsene [Landscape-climate changes during the Holocene], *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk, Ser. geograficheskaya*, 2014, no. 2, p. 5–20. (In Russian)
- Chekhovskaya M.P., Zenina M.A., Matul' A.G., Stepanova A.Yu., Rakovski A.Z. Ostracod-based paleoreconstructions on the Northern Caspian Sea shelf during the Holocene, *Oceanology*, 2018, vol. 58, no. 1, p. 79–91.
- Dorofeev N.V., Bochkarev A.V., Simonova E.B., Filipova P.B. Stroenie, neftegazonosnost' i riski osvoeniya nizhnemelovykh otlozhenij zapadnoj chasti Rakushechno-Shirotnoj sistemy podnjatij [Structure, oil and gas occurrence and risks of the development of the Lower Cretaceous deposits in the western part of the Rakushechno-Shirotnaya Uplift Zone], *Geologiya, geofizika i razrabotka nefijnykh i gazovykh mestorozhdenij*, 2015, no. 6, p. 18–26. (In Russian)
- Hartley B., Barber H.G., Carter J.R., Sims P.A. *An atlas of British diatoms*, Bristol, Biopress, 1996, 601 p.
- Ivanova E.V., Marret F., Zenina M.A., Murdmaa I.O., Chepalyga A.L., Bradley L.R., Schornikov E.I., Levchenko O.V.,

- Zyryanova M.I. The Holocene Black Sea reconnection to the Mediterranean Sea: New insights from the northeastern Caucasian shelf, *Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol.*, 2015, vol. 427, p. 41–61, DOI: 10.1016/j.palaeo.2015.03.027.
- Kachinskii N.A. *Fizika pochvy, chast' I* [Soil physics, part 1], Moscow, Higher school Publ., 1965, 320 p. (In Russian)
- Kakroodi A.A., Leroy S.A.G., Kroonenberg S.B., Lahijani H.A.K., Alimohammadian H., Boomer I., Goorabi A. Late Pleistocene and Holocene sea-level change and coastal paleoenvironment evolution along the Iranian Caspian shore, *Marine Geology*, 2015, vol. 361, p. 111–125, DOI: 10.1016/j.margeo.2014.12.007.
- Kislov A.V., Panin A.V., Toropov P.A. Current status and palaeostages of the Caspian Sea as a potential evaluation tool for climate model simulations, *Quaternary International*, 2014, vol. 345, p. 48–55, DOI: 10.1016/j.quaint.2014.05.014
- Kostianoy A.G., Kosarev A.N. *The Caspian Sea Environment*, Springer, Berlin, Heidelberg, Germany, 2005, 268 p., DOI: 10.1007/b138238.
- Kozina N., Reykhard L., Dara O. Authigenic Minerals of the Derbent and South Caspian Basins (Caspian Sea): Features of Forms, Distribution and Genesis under Conditions of Hydrogen Sulfide Contamination, *Minerals*, 2022, vol. 12, no. 1, p. 87–104, DOI: 10.3390/min12010087.
- Kulikovskiy M.S., Gluschenko A.M., Genkal S.I., Kuznetsova I.V. *Opredelitel' diatomovykh vodorosley Rossii* [Identification guide of diatoms in Russia], Yaroslavl, Filigran, 2016, 804 p. (In Russian)
- Lobacheva D.M., Badyukova E.N., Makshaev R.R. Litofatsial'noe stroenie i usloviya nakopleniya otlozhenii Berovskikh bugrov Severnogo Prikaspiya [Lithofacial structure and conditions of accumulation of Bare knoll deposits in the Northern Caspian region], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2021, no. 6, p. 99–111. (In Russian)
- Rychagov G.I. *Pleistotsenovaya istoriya Kaspiiskogo morya* [The Pleistocene history of the Caspian Sea], Moscow, Moscow St. Un-t Publ., 1997, 268 p. (In Russian)
- Rychagov G.I. Kolebaniya urovnya Kaspiiskogo morya: prichiny, posledstviya, prognoz [Fluctuations of the Caspian Sea level: causes, effects, forecast], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2011, no. 2, p. 4–12. (In Russian)
- Smith A.J., Horne J.H. Ecology of marine, marginal marine and nonmarine ostracods, *The Ostracoda: Applications in Quaternary Research*, AGU, Washington, DC, USA, 2002, p. 37–64.
- Smol J.P., Birks H.J., Last W.M. *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments: Terrestrial, Algal and Siliceous Indicators*, Kluwer Academic Publishers, Alphen an den Rijn, The Netherlands, 2001, 327 p.
- Sudakova N.G., Antonov S.I., Bolikhovskaya N.S., Vvedenskaya A.I., Nemtsova G.M. et al. *Problemy korrelyatsii razrezov noveishikh otlozhenii lednikovoi i periglyatsial'noi zon na vostoke Srednerusskoi vozvyshennosti* [Problems of correlation of the recent deposits outcrops in the glacial and periglacial zones of the Eastern part of the Central Russian Upland], Dep. VINITI, Moscow, All-Russian Institute for Scientific and Technical Information Publ. (no. 3299-V95), 1995, p. 1–46. (In Russian)
- Svitoch A.A., Yanina T.A. *Chetvertichnye otlozheniya poberezhii Kaspiiskogo morya* [Quaternary deposits of the Caspian Sea coasts], Moscow, Russian Agricultural Sciences Academy Publ., 1997, 268 p. (In Russian)
- Varushchenko S.I., Varushchenko A.N., Klige R.K. *Izmenenie rezhima Kaspiiskogo morya i besсточnykh voedomov v paleovremeni* [Change of the Caspian Sea and endorheic reservoirs regime in Palaeotime], Moscow, Nauka Publ., 1987, 239 p. (In Russian)
- Yanina T.A. Evolyutsiya prirodnoi sredy Ponto-Kaspiya v usloviyakh global'nykh izmenenii klimata v pozdnem pleistotsene [Evolution of the Pont-Caspian environment under the global climate change during the Late Pleistocene], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2013, no. 1, p. 3–16. (In Russian)
- Yanina T.A. *Didakny Ponto-Kaspiya* [Didacna of the Pont-Caspian], Moscow, Smolensk, Madzhenta Publ., 2005, 300 p. (In Russian)
- Web sources*
- AlgaeBase, National University of Ireland, Galway, 2020, URL: <https://www.algaebase.org> (access date 10.04.2023).
- Coordinating Committee on Hydrometeorology and Pollution Monitoring of the Caspian Sea (CASPCOM), 2023, URL: www.caspcom.com (access date: 30.05.2023).

Received 25.04.2023

Revised 16.08.2023

Accepted 06.10.2023