

УДК 551.352(262.81)

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2023-63-4-75-85

О ВОЗРАСТЕ ВЕРХНЕЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ

Валентин Михайлович Сорокин¹, Тамара Алексеевна Янина²,
Борис Федорович Романюк³

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; vsorok@rambler.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; didacna@mail.ru

³ «Моринжгеология», Рига, Латвия; geology@inbox.lv

Аннотация. Комплексом методов (сейсмоакустическое профилирование, анализ непрерывных разрезов скважин, стратиграфические исследования по малакофауне, радиоизотопное датирование возраста) в составе верхнечетвертичных отложений шельфа Северного Каспия выделены новокаспийский, мангышлакский, хвалынский, ательский, гирканский и верхнехазарский горизонты. На основании AMS радиоуглеродного и уран-ториевого датирования определено время их накопления, соответственно, в интервалах 0–8,5; 8,5–13, 13–50 (60), 50–70, >60–120 и более 120 тыс. лет назад.

Ключевые слова: Каспийское море, поздний плейстоцен, голоцен, новокаспийский, мангышлакский, хвалынский, ательский, гирканский, хазарский, радиоуглеродный

Для цитирования: Сорокин В.М., Янина Т.А., Романюк Б.Ф. О возрасте верхнечетвертичных отложений Северного Каспия // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2023. № 4. С. 75–85.

ON THE AGE OF UPPER QUATERNARY DEPOSITS OF THE NORTHERN CASPIAN SEA

Valentin M. Sorokin¹, Tamara A. Yanina², Boris F. Romanyuk³

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; vsorok@rambler.ru

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; didacna@mail.ru

³ «Morinzheology», Riga, Latvia; geology@inbox.lv

Abstract. A complex of methods (seismoacoustic profiling, analysis of continuous sections of wells, stratigraphic studies on malacofauna, radioisotope age dating) in the composition of Upper quaternary deposits of the shelf of the Northern Caspian, the Novocaspian, Mangyshlak, Khvalynsky, Athelsky, Hyrcan and Upper Khazar horizons were identified. Based on AMS radiocarbon and uranium-thorium dating, the time of their accumulation is determined, respectively, in the intervals 0–8, 8–12, 12–50 (60), 50–70, 80–100 and more than 120 thousand years ago.

Keywords: the Caspian Sea, Late Pleistocene, Holocene, Newcaspien, Mangyshlak, Khvalyn, Atel, Hyrcan, Khazar, radiocarbon

For citation: Sorokin V.M., Yanina T.A., Romanyuk B.F. On the age of upper quaternary deposits of the Northern Caspian Sea. *Moscow University Geol. Bull.* 2023; 4: 75–85. (In Russ.).

Введение. Стратиграфия плейстоцена Каспийского моря разработана на материалах изучения обнажений речных и морских террас и разрезов скважин на прилегающих к морю областях суши. В разрезе верхнеплейстоценовых отложений были выделены верхнехазарский, ательский, хвалынский, мангышлакский и новокаспийский горизонты [Андрусов, 1900; Попов, 1983; Рычагов, 1997; Свиточ, 2014; Свиточ, Янина, 1997; Федоров, 1978; Янина, 2012]. В отечественных и зарубежных лабораториях получены многочисленные цифры абсолютного возраста с использованием радиоуглеродного, уран-ториевого, термолюминисцентного, оптически стимулированной люминисценции (ОСЛ) и других методов [Рычагов, 1997; Свиточ, Янина, 1997; Янина и др., 2017; Arslanov et al, 2016; Költringer et al., 2020; Kurbanov et al., 2022; Taratunina et al, 2022; Tudrin et al., 2013].

Несмотря на более чем столетнюю историю изучения сухопутных разрезов позднечетвертичных отложений, все еще остается ряд дискуссионных положений, связанных с выделением и объемом отдельных горизонтов, с определением их стратиграфического положения и возраста, с синхронизацией с этапами последнего оледенения Русской равнины и с событиями в Черном море. Так, гирканские слои: а) не выделяются, б) выделяются в составе межледникового верхнехазарского горизонта [Курбанов и др., 2018; Попов, 1983; Янина, 2012; Янина и др., 2017], в) отнесены к средневалдайскому межстадиальному периоду [Tudrin et al., 2013]. Ательский горизонт синхронизируется с ранним валдаем [Рычагов, 1997; Попов, 1983; Федоров, 1978], с ранним и средним валдаем [Янина, 2012; Янина и др., 2017], средним и поздним валдаем [Tudrin et al., 2013]. Нет согласия с существованием и определением времени

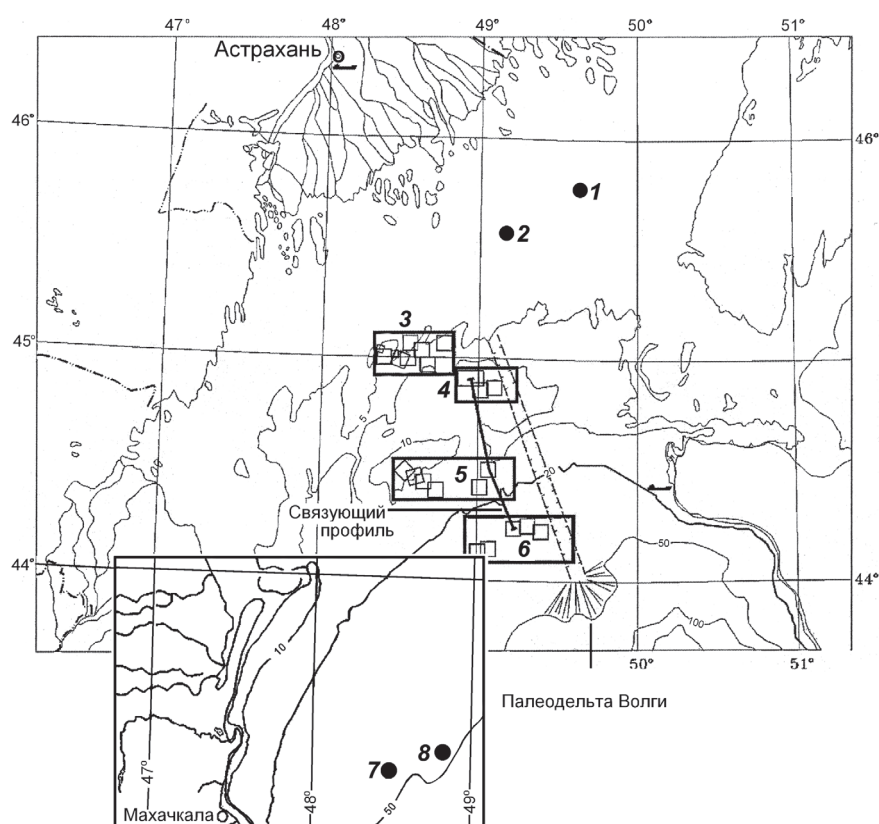


Рис. 1. Схема расположения и номера изученных участков

развития енотаевской (последнедевонская — ранний голоцен) и мангышлакской (конец плейстоцена — ранний голоцен) регрессий. Расходятся взгляды на стратиграфический объем и возраст (от раннего до позднего валдай) хвалынского горизонта и время наступления максимального уровня раннехвалынской трансгрессии (ранний — средний — поздний валдай, LGM, последнедевонская) [Попов, 1983; Рычагов, 1997; Свиточ, 2014; Федоров, 1978; Янина, 2012]. На все перечисленные и другие вопросы трудно ответить, изучая только фрагментированные и неполные разрезы на суше.

С конца 1990-х годов в ходе геологоразведочных работ компании «Лукойл» на шельфе Северного Каспия пробурено несколько десятков инженерно-геологических скважин длиной до 80 м со сплошным отбором керна. Параллельно выполнено сейсмоакустическое профилирование (НСП) осадочной толщи на глубину до 200 м. Часть полученных результатов была опубликована нами в нескольких статьях [Безродных и др., 2004; 2015; Bezrodnikh, Sorokin, 2016; Bezrodnikh et al., 2020; Sorokin et al., 2018; Yanina et al., 2021]. В результате обработки этих материалов появилась возможность воссоздать на материалах изучения непрерывных разрезов, включающих значительный объем определений абсолютного возраста (>200 цифр), более достоверную историю развития Каспийского моря в позднечетвертичное время.

Целью выполненных исследований являлся комплексный анализ верхнечетвертичных отложений, полученных в процессе геолого-геофизических работ на ряде участков шельфа Северного Каспия,

и обоснование на его результатах временных интервалов формирования их основных стратиграфических горизонтов.

Материалы и методика работ. Основой работы послужили разрезы около двух десятков скважин, вскрывших верхние и средние неоплейстоценовые осадки на 8 участках шельфа в интервале глубин от 5 до 50 м (рис. 1).

Стратиграфические исследования керна включали его литологическое описание, анализ комплексов двустворчатых моллюсков, радиоуглеродное (жидкостно-сцинтилляционный и ускоренный масс-спектрометрический (AMS) варианты) и U/Th датирование, биологический анализ органических остатков.

Цифры жидкостного варианта ^{14}C метода получены в лабораториях географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (индекс МГУ), СПбГУ (индекс ЛУ), РПГУ им. А.И. Герцена (индекс SPb), Института географии РАН (индекс ИГАН); ускоренной масс-спектрометрии (AMS) — в Национальной лаборатории Лоуренса в Ливерморе (LLNL) (США) (индекс CAMS), в Chrono Центре королевского университета в Белфасте (Северная Ирландия) (индекс UBA), Института Географии РАН. Суммарный массив радиоуглеродных данных составляет около 170 измерений. Калибровка возраста выполнена с помощью программы Calib 8 с использованием морской базы данных (Marine 20) для поправки на резервуарный возраст, принятой нами как $\Delta R = -152 \pm 29$ [Heaton et al., 2020; Stuiver and Reimer, 1993].

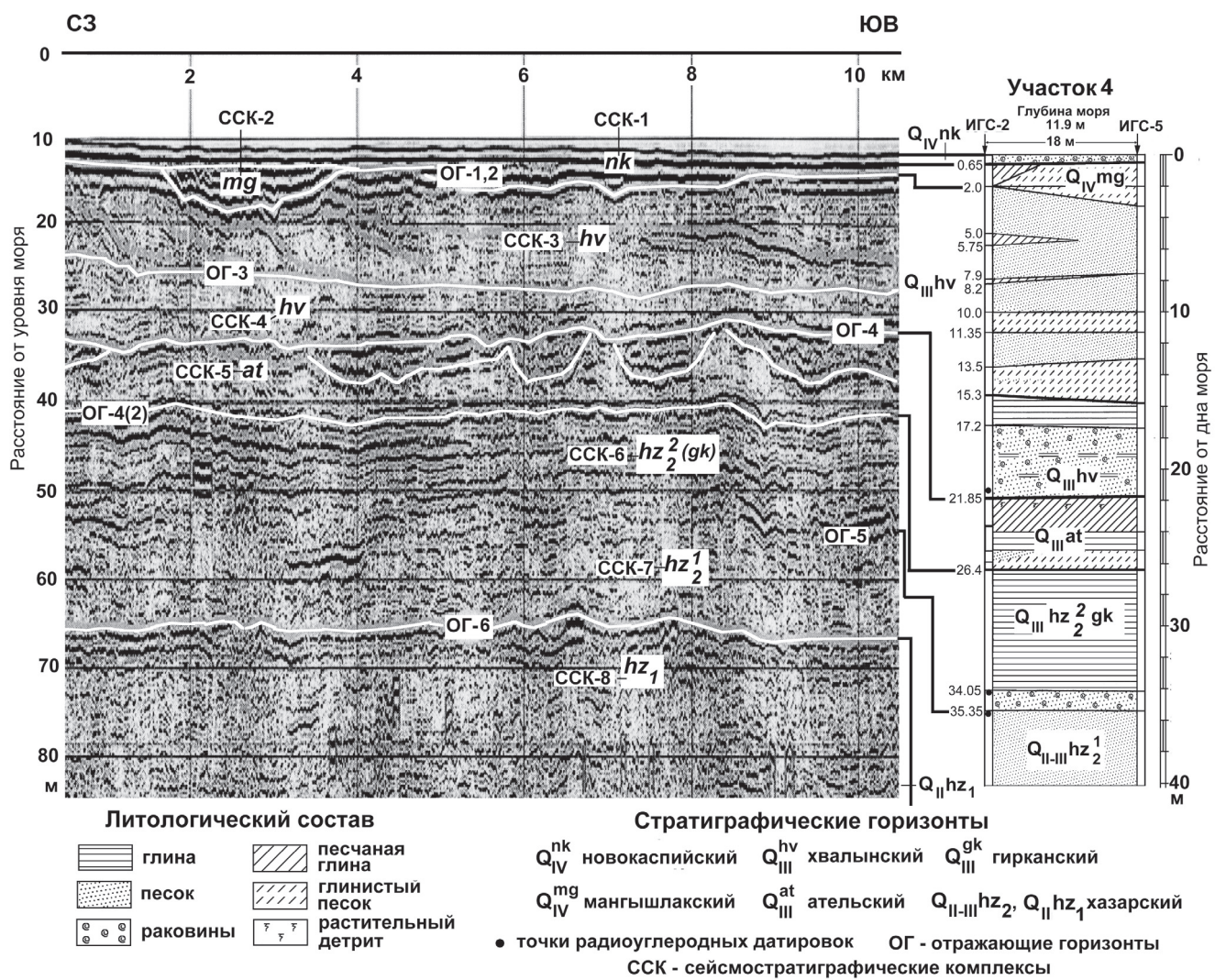


Рис. 2. Корреляция сейсмоакустического профиля и разрезов скважин с участка 3

Цифры возраста U/Th методом получены в СПбГУ. Одно определение по циркону из пеплового прослая выполнено в Curtin University в Перте (Австралия) [Ponomareva et al., 2022].

Биологический анализ выполнен в Институте Овощеводства РАН. Сейсмоакустическое профилирование (НСП) проведено с использованием двухканальной методики с электроискровым источником спаркер и высокочастотным электродинамическим источником бумер.

Комплексная интерпретация полученных результатов позволила идентифицировать выделенные стратиграфические горизонты с сейсмоакустическими комплексами и проследить особенности их латерального распространения под дном моря между изобатами 5 м и ~50 м.

Результаты исследований. Строение и био-стратиграфия осадков. По результатам анализа сейсмоакустических профилей и керна скважин установлено, что толща осадочных отложений характеризуется неоднородными акустическими свойствами (рис. 2).

В ней выделяются интервалы с различной выраженностью волновой картины, сменяющие друг друга в вертикальном и латеральном направлениях. Они разделены четкими, регионально выдержанными отражающими горизонтами (ОГ), связанными с изменением состава отложений или с несогласиями при смене морских и континентальных условий осадконакопления, т.е. являются границами, разделяющими разновозрастные отложения. В разрезах изученных скважин наблюдается изменение состава моллюсков, что позволило выделить в разрезе в соответствии с общепринятой для Каспийского моря стратиграфической шкалой новокаспийский, мангышлакский, хвалынский, ательский и хазарский горизонты. Как правило, доминирующее значение в комплексах моллюсков имеют солоноватоводные и пресноводные пелециподы родов *Hypanis*, *Dreissena*, *Adacna*, *Corbicula*, а также гастроподы, которые присутствуют во всех стратиграфических подразделениях. Однако маркирующими видами являются представители рода *Didacna*.

На основе особенностей сейсмической записи и корреляции с разрезами скважин нами выделены на профилях 6 сейсмостратиграфических комплексов (ССК): новокаспийский (ССК-1), мангышлакский (ССК-2), хвалынский с верхним (ССК-3) и нижним (ССК-4) подкомплексами, ательский (ССК-5), верхнехазарский с верхним гирканским (ССК-6) и нижним (ССК-7) подкомплексами, нижнехазарский (ССК-8), имеющие региональное распространение на шельфе Северного Каспия (рис. 2).

ССК-1 характеризуется слоистой структурой, нарушаемой неглубокими речными врезами с фациями заполнения, сложенными раковинными и раковинно-песчаными отложениями, внизу песком, включающим тонкие пропластки глины. Мощность слоя в пределах изученного региона изменяется в пределах 0,5–2,0 м. Подошва комплекса достаточно уверенно выделяется на сейсмоакустических записях по отражающему горизонту ОГ-1. В составе опресненного комплекса моллюсков содержатся *D. baeri*, *D. longipes*, *D. barbotdemarnyi*, редкие *D. parallela*, *D. cristata*, *D. praetrigonoides*, а в верхней части морские виды *Cerastoderma glaucum*, *Mytilaster lineatus*, *Abra ovata*.

ССК-2 представляет комплекс отложений, сформированных в период мангышлакской регрессии севернее отступающего берега моря. Он заполняет собой замкнутые понижения, вытянутые большей частью в субмеридиональном направлении. Осадки сложены слабо консолидированными глинами, органоминеральными грунтами (торф и сапропель) и алевритово-песчаными разностями, часто включающими растительный детрит. Максимальная относительная глубина таких палеопонижений и мощность заполняющих осадков местами достигает 6–9 м. В южной части изученной территории горизонт представлен единой диагонально-слоистой сейсмофацией, по-видимому, продельтового генезиса. Его подошва совпадает с отражающим горизонтом ОГ-2. В мангышлакских отложениях среди редких раковин моллюсков присутствуют слабо солоноватоводные и пресноводные виды, а также пресноводные виды диатомовых водорослей и многочисленные остатки высших растений.

ССК-3 на сейсмоакустических записях имеет сложное строение и часто проявляется наличием нерегулярной косой однонаправленной и перекрестной слоистости. Он представлен двумя фациально-генетическими типами отложений. Верхняя его часть являет собой пачку дельтовых осадков: песков, глинистых и алевритово-глинистых грунтов разной консистенции с коричневой окраской, сформированных в мелководных условиях при начавшейся регрессии моря. Мощность пачки изменяется от 1–2 м под наиболее глубокими мангышлакскими палеоформами до 10 м и более в местах проявления дельтовых врезов. Нижняя часть подкомплекса представлена алевритовым песком, включающим местами прослой глинистых грунтов.

Мощность этой части находится в пределах 4–5 м. Верхний хвалынский подгоризонт содержит раковины монодакн, хипанисов, адакн, гастропод. Из дидакн в комплексе встречаются *D. praetrigonoides*, *D. parallela*, *D. cristata*, *D. subcatillus*, *D. barbotdemarnyi*, иногда *D. ebersini*.

ССК-4, образованный нижнехвалынскими отложениями, ограничен снизу ОГ-4, а сверху ОГ-3 и отчетливо проявляется на сейсмоакустических профилях по наличию выдержанной параллельно слоистой структуры. По литологическому составу в нем выделяются две части. Нижняя часть представляет собой пачку мощностью 2,5–5,0 м, обогащенную раковинным материалом. В ее разрезе наблюдается чередование чистой ракуши, раковинного материала разной крупности с песчаным либо глинистым заполнителем, а также глинистого грунта с включениями раковин и раковинного детрита. Верхняя часть мощностью 8–10 м сложена внизу серыми и коричнево-серыми глинистыми осадками мягкопластичной консистенции, а сверху — глинами, включающими прослой песка разной мощности. В составе моллюсков подгоризонта определены *D. parallela*, *D. subcatillus*, *D. cristata*. В некоторых образцах изредка присутствуют *D. protracta*, *D. zhukovi*, *D. ebersini*, а также *D. praetrigonoides*. Следует отметить, что руководящий вид-маркер *D. ebersini* встречен только в керне некоторых скважин на участке 4 в верхней части горизонта и в виде единичных раковин или их обломков на участках 7 и 8.

ССК-5 складывается глинистым материалом коричневой окраски с примесью песка, алеврита, с прожилками хемогенного карбоната, едким детритом раковин суммарной мощностью до нескольких метров. На участке 8 в разрезе преобладают пески. Кроме того для прикровельной части комплекса характерны признаки преобразования отложений в субазальной среде в условиях засушливого климата: сеть трещин усыхания, уплотнение грунтов. Отложения смешанного алевритово-глинистого и глинисто-песчаного состава, залегающие в кровле рассматриваемого горизонта, заполняют ложбинообразные понижения глубиной 2–6 м в подстилающей регрессивной толще гирканско-ательских слоев, аналогичные мангышлакским формам. В них наблюдаются скопления растительного детрита, водорослей и включения раковин пресноводных видов моллюсков, среди которых в разных соотношениях встречены *Unio sp.*, *Limnea stagnalis*, *Anisus eichwaldi*, *Valvata piscinalis*, *Dr. polymorpha*. По данным флорофаунистического анализа органического материала из алевритово-глинистых отложений преобладают остатки высших растений (*Ceratophyllum demersum*, а также *Typha*), имеются разнообразные пресноводные водоросли — вольвовковые, синезеленые, харовые, десмидиевые, что указывает на континентальные водно-болотные условия пресных или слабосоленых водоемов. На участках 7, 8 ССК-5 проявляется песчаной пачкой отложений с диаго-

нальной слоистостью (проградация дельты Сулака?) с эрозионной верхней границей.

ССК-6, заполненный отложениями гирканского подгоризонта верхнехазарского горизонта, представлен на участках 3 и 4 выдержанной субгоризонтально слоистой пачкой, образованной серией конформных, интенсивных отражающих поверхностей, которая состоит из глин с послойными включениями раковин (*Dr. rostriformis*, *D. umbonata*, *D. subcatillus*, *D. cristata*), характерных для выделенного Г.И. Поповым в Северном Прикаспии гирканского горизонта. Книзу он замещается толщей, характеризующейся прерывистыми отражающими площадками разной интенсивности, ограниченной снизу ОГ-5, который разделяет ССК-6 и ССК-7. ОГ-4(2) отделяет гирканский комплекс от ССК-5.

ССК-7 выполнен отложениями нижнего подгоризонта верхнехазарского горизонта. В его основании залегают мелководные осадки, представленные песками с включениями раковин характерных позднехазарских видов *D. surachanica*, *D. nalivekini*, *D. ovatocrassa*, разнообразных монодакт, дрейсен, гастропод. Выше по разрезу они перекрыты песчано-глинистыми отложениями, содержащими, наряду с раковинами указанных видов, пресноводные *Viviparus*, *Valvata*. В кровле толщи обособлен песчано-раковинный слой мощностью около 1 м. В нем составе раковин присутствуют *Didacna surachanica*, *Didacna cristata*, сопровождаемые монодактами, дрейссенами, разнообразными гастроподами. В западной части рассматриваемого региона в этом слое довольно многочисленны в совместном залегании *Corbicula fluminalis*, *Didacna nalivekini*.

По ОГ-6 отложения верхнехазарского горизонта отделяются от нижнехазарского горизонта среднего неоплейстоцена (ССК-8) с иным составом фауны.

Датирование возраста. Результаты датирования раковинного материала и органического вещества (гуминовые кислоты и остатки растительности) радиоуглеродным методом объединены в два массива данных, представленных в табл. 1 и 2.

В табл. 1 приведены цифры возраста, полученные жидкостно-сцинтилляционным методом. Для новокаспийского горизонта (ССК-1 выше ОГ-1 на сейсмоакустических профилях) они группируются в пять интервалов: 1) 8060 ± 70 — 5225 ± 110 ^{14}C лет (8401 – 8624 — 5273 – 5546 кал лет BP); 2) 4912 ± 70 — 3520 ± 50 ^{14}C лет (5061 – 5314 — 3156 – 3337 кал лет BP); 3) 3324 ± 50 — 3200 ± 50 (3086 – 3296 — 2924 – 3136 кал лет BP); 4) 2895 ± 60 — 2254 ± 50 ^{14}C лет (2564 – 2757 — 1765 – 1963 кал лет BP); 5) 2050 ± 60 — 0 ^{14}C лет (1519 – 1719 — 0 кал лет BP). Первый, третий и пятый интервалы соответствуют трансгрессивным слоям с морской фауной (в 3 и 5 с *Cardium edule*), а второй и четвертый интервалы — регрессивным фациям заполнения речных врезов с пресноводной фауной и обильным растительным детритом.

Несколько цифр, полученных с использованием AMS метода, совпадают с интервалами, приведен-

ными выше (1435 ± 30 — 630 ± 30 , 5905 ± 30 и 7685 ± 35 ^{14}C лет).

Для мангышлакского горизонта наиболее древние цифры, полученные обеими разновидностями ^{14}C метода, находятся в интервале 9900 ± 100 — 10825 ± 30 ^{14}C лет (11205 – 11405 — 12053 – 12517 кал лет BP) (табл. 1; 2). Для хвалынского горизонта (ССК — 3, 4) результаты датирования, полученные с использованием жидкостно-сцинтилляционной и AMS методик, сильно расходятся. В первом случае цифры возраста находятся в интервале от 12870 ± 100 до >30 тыс. ^{14}C лет (14547 – 14973 — ~ 35 кал. лет BP) (табл. 1). Возрастная граница между верхнехвалынским и нижнехвалынским подгоризонтами при этом может быть проведена между 16 и 17 тыс. ^{14}C лет.

Во втором случае (табл. 2) наиболее молодые цифры соответствуют верхней части хвалынского разреза и уровню 23200 ± 140 — 30934 ± 313 ^{14}C лет BP (26 – 35 тыс. кал лет BP). Многие даты располагаются на пределе или за пределами разрешения радиоуглеродного метода. Однако по ряду проб получены конечные цифры в интервале ~ 44 – 47 тыс. ^{14}C лет (~ 47 – 50 тыс. кал лет BP).

Для ательского горизонта по органическому веществу имеются 3 цифры возраста, причем их наибольшее значение составило почти 41 тыс. ^{14}C лет BP (~ 44 тыс. кал лет BP). Осадки гирканского подгоризонта верхнехазарского горизонта (ССК-5) отличаются близкими к предельным и запредельными цифрами радиоуглеродного возраста (табл. 2).

Уран-ториевое датирование. Кроме радиоуглеродных датировок были получены несколько цифр возраста $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ методом (табл. 3). Тридцать два определения сделаны в СПбГУ. Из них достоверными можно считать 7 цифр. Они выполнены по внутренним слоям раковин, отличающимся наименьшими постседиментационными изменениями изотопного состава. Для внутренних фракций $^{230}\text{Th}/\text{U}$ возраст оказался большим, чем для внешних фракций этих же образцов; не обнаружено детритное загрязнение, вызывающее омоложение; содержание урана меньше (равно), чем во внешних слоях; значение отношения активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ близко или несколько больше средней величины этого отношения в океанической воде. Цифры для верхнехазарского и нижнехазарского горизонтов превысили 200 тыс. лет.

Одно определение получено по циркону из пепла, обнаруженного в разрезе скважины с участка 5.

Обсуждение результатов. Стратиграфическая и возрастная интерпретация представленных результатов осложняется двумя неопределенностями. Первая из них связана с особенностями распределения в изученных разрезах фауны моллюсков. По видовому составу надежно выделяются только отложения новокаспийского и верхнехазарского горизонтов. Гирканские и хвалынские осадки, различаясь литологически и по положению на сейсмоакустических профилях и в разрезах скважин, характеризуются близким составом дидакт. В хвалынском

Таблица 1

Результаты датирования возраста сквинтиляционно-жидкостным ¹⁴С методом

№	Лабораторный индекс	Глубина отбора, м	Возраст	Исходный материал	¹⁴ С лет ВР калиброванный возраст (кал лет ВР)
Участки 1, 2					
1	МГУ-1644	0–8–2,4	nk	Р (раковины)	2750±60 — 8060±70
2	МГУ-1645	2,7–2,8	mg	Р	9220±100 (9864–10184)
3	МГУ-1642	2,8–2,9	hv ₂	Р	13970±110 (16055–16420)
4	МГУ-1684	2,9–3,2	hv ₁	Р	22900±400 (26013–26852)
5	МГУ-1685	3,8–4,1	hv ₁	Р	30500±600 (33702–34939)
6	МГУ-1682	19,7–19,8	gk	Р	>38000
7	МГУ-1686	19,8–19,9	gk	Р	>39375
Участок 3					
8	МГУ-1590	0,2–2,45	nk	Р	680±30 — 8100±300
9	ЛУ-8157	3,5–3,7	mg	Р	9830±210 (10561–11148)
10	ЛУ-8162	13,2–13,43	hv ₁	Р	22320±500
11	МГУ-1600	18,0–18,4	hv ₁	Р	29520±480 (32723–33936)
12	МГУ-1599	19,3–19,4	hv ₁	Р	>30000±600
13	МГУ-1598	22,3–23,7	hv ₁	Р	30085±800 (32924–34705)
14	ЛУ-6484	28,4–28,6	hv ₁	Р	30950±1050
15	ЛУ-6487	44,25–44,36	gk	Р	≥42150
16	ЛУ-6486	47,15–47,65	gk	Р	31540±820
17	ЛУ-8159	44,5–44,8	gk	Р	34060±2090
18	SPb-1997	1,87–1,93	mg	Р	10350±100 (11376–11748)
Участок 4					
19	ИГАН, ЛУ, МГУ	0,35–2,9	nk	ОВ (органическое вещество)	2620±60 — 7680±80
20	МГУ-1496	2,4–2,5	mg	ОВ	9300±110 (9923–10271)
21	МГУ-1493	1,15–1,65	mg	ОВ	9420±60
22	МГУ-1494	3,38–3,55	mg	ОВ	9860±240
23	ЛУ-6135	2,7–3,2	mg	ОВ	9900±100 (11205–11405)
24	МГУ-1562	8,2–9,1	hv ₁	Р	16620±130
25	МГУ-1674	11,9–12,1	hv _{1?}	Р	16650±100
26	ЛУ-6132	20,2–20,3	hv ₁	Р	18250±270
27	МГУ-1673	13,65–13,75	hv ₁	Р	20195±200

№	Лабораторный индекс	Глубина отбора, м	Возраст	Исходный материал	¹⁴ С лет ВР калиброванный возраст (кал лет ВР)
28	МГУ-1672	18,9–19,3	hv ₁	Р	22230±300
29	МГУ-1556	21,0–22,5	hv ₁	Р	27200±340
30	МГУ-1616	22,2–22,3	hv ₁	Р	27215±330 (30367–30985)
31	ЛУ-7025	21,3–21,6	hv ₁	Р	28550±1950 (30228–34173)
32	ЛУ-6131	16,9–17,0	hv ₁	Р	≥31570
Участок 5					
33	ЛУ-8154	3,15–3,30	mg	Р	8300±170
34	МГУ-1507	21,6–21,8	hv ₁	Р	16900±120 (19644–19996)
35	ЛУ-8152	2,25–2,45	nk	Р	8090±160
36	ЛУ-6870	2,75–3,10	mg	ОВ	10410±160 (11385–11918)
37	SPb-2001	35,55–35,78	hv ₁	Р	25538±500
Участок 6					
38	МГУ-1560	0,8–1,05	nk	Р	1690±40 — 7630±440
39	МГУ-1558	7,75–7,85	mg	Р	8590±70 (9110–9354)
40	МГУ-1557	14,6–14,7	hv ₁	Р	16900±110
41	МГУ-1555	21,7–21,9	hv ₁	Р	21090±320
42	МГУ-1596	2,05–2,10	hv ₁	Р	19210±200
43	МГУ-1595	4,8–4,9	hv ₂	Р	12870±100 (14547–14973)
44	МГУ-1594	11,0–11,5	hv _{2?}	Р	15710±170 (18168–18578)
45	МГУ-1593	15,1–15,2	hv ₁	Р	16075±120
46	МГУ-1592	16,9–17,2	hv ₁	Р	19325±175
47	МГУ-1591	29,4–29,6	hv ₁	Р	22190±400
48	МГУ-1599	19,3–19,4	hv ₁	Р	>30000±600
49	МГУ-1598	22,3–23,7	hv ₁	Р	30085±600 (33205–34478)
Участки 7, 8					
50	ЛУ-8835	2,95–3,10	hv ₁	Р	20780±410 (23724)
51	ЛУ-6881	5,2–5,35	hv ₁	Р	16600±840 (27981–28335)
52	ЛУ-6882	11,2–11,34	hv ₁	Р	19950±630 (22517–23906)
53	ЛУ-6883	28,6–28,85	hv ₁	Р	27430±610
54	ЛУ-6885	35,70–35,90	hv ₁	Р	31600±420 (34927–35842)
55	ЛУ-6486	47,15–47,65	hv ₁	Р	31540±820

Примечания: стратиграфические горизонты: nk — новокаспийский, mg — мангышлакский, hv — хвалынский (1-верхний, 2-нижний), at — ательский, gk — гирканский. ОВ — органическое вещество, Р — раковины.

Таблица 2
Результаты датирования возраста осадков AMS ¹⁴C методом

№ пп	Лабораторный индекс	Глубина отбора, м	Возраст	AMS ¹⁴ C лет BP (кал лет BP) / исследованный материал
Участок 3				
1	CAMS 179411	0,47–0,77	nk	665±30 (195–375) / <i>C. edule</i>
2	CAMS 179412	1,0–1,12	nk	630±30 (143–313) / <i>C. edule</i>
3	CAMS 179416	1,43–1,47	nk	1325±30 (780–929) / <i>Monodacna caspia</i>
4	CAMS 173074	3,7–3,8	mg	7685±35 (8024–8190) / OB
5	CAMS 179413	1,78–2,0	mg	8620±30 (9185–9377) / <i>M. caspia</i>
8	CAMS 179414	2,6–2,76	mg	8730±30 (9317–9464) / <i>M. caspia</i>
9	CAMS 179415	3,46–3,62	mg	9120±30 (9759–10002) / <i>M. caspia</i>
10	CAMS 162561	28,40–28,60	hv1	45400±1200 (46867–47298) / <i>D. ebersini</i>
11	CAMS 166531	30,80	hv1	>50500 / <i>D. subcatillus</i>
12	CAMS 166532	33,4	hv1	54300±3600 / <i>D. sp.</i>
13	CAMS 162563	38,0–38,05	hv1?	46600±1400 (46706–50246) / гастропода
14	CAMS 162569	38,7–38,75	hv1?	46000±1300 (46080–48953) / <i>D. subcatillus</i>
15	CAMS 159402	41,15–41,20	gk	>54000 / <i>D. subcatillus</i>
16	CAMS 159401	44,25–44,36	gk	55200±3200 / <i>D. subcatillus</i>
17	CAMS 159404	44,25–44,36	gk	51000±2000 / <i>D. cristata</i>
Участок 4				
18	CAMS 163751	ISG-5 7,00–7,54	hv	28830±150 (31808–32392) / <i>M. caspia</i> , <i>D. ebersini</i>
19	UBA 25106	ИГС-5 7,0–7,54	hv	30934±313 (34396–35031) / <i>D. sp</i>
20	UBA 25107	ИГС-5 12,3	hv1	>49009 / <i>D.sp</i>
21	CAMS 163752	ISG-5 12,3	hv1	55600±3000 / <i>D. ebersini</i>
22	UBA 25108	ИГС-5 15,2	hv1	>49809 / <i>D. sp</i>
23	UBA 25109	ИГС-5 19,0	hv1	>49669 / <i>D. sp</i>
24	CAMS 163753	ISG-2 17,45–17,80	hv1	>55700 / <i>D. subcatillus</i>
25	CAMS 166534	IGS-2 18,55–18,70	hv1	>50500 / <i>D. ebersini</i>
26	CAMS 163754	ISG-2 21,40–21,50	hv1	56300±3300 / <i>D. subcatillus</i> , <i>D. ebersini</i>
27	CAMS 163762	ISG-2 22,0–22,11	at	37100±660 (40615–41592) / OB
28	IGAN 4541	-«-	at	36680±850 (40441–41941) / OB
29	IGAN 4542	ISG-2 21,75–21,85	at	40830±100 (44210–44570) / OB

№ пп	Лабораторный индекс	Глубина отбора, м	Возраст	AMS ¹⁴ C лет BP (кал лет BP) / исследованный материал
30	CAMS 163755	34,10–34,70	gk	55200±2900 / <i>D. subcatillus</i>
31	CAMS 163756	35,40–35,41	gk	53200±2300 / <i>D. subcatillus</i>
Участок 5				
32	CAMS 172873	C4-12 1,4–1,7	nk	1435±30 (905–1055) / <i>C. edule</i>
33	CAMS 172874	IGS-3 13,4–13,5	hv	>48100 / <i>D. sp</i>
34	CAMS 172874	IGS-3 13,4–13,5	hv	>53600 / OB
35	CAMS 172875	IGS3 25,4	gk	>50600 / <i>D. sp</i>
36	CAMS 172876	IGS3 35,55–35,7	gk	>51800 / <i>D. sp</i>
37	CAMS 172877	T3 0,9 Палеодельта	mg	10190±35 (11209–11406) / <i>D. profundicula</i>
Участок 6				
38	CAMS 166535	IGS-3 15,9–16,5	hv	>53900 / <i>D. subcatillus</i>
Участок 7				
39	CAMS 179417	0,15–0,30	nk	5905±30 (6206–6363) / <i>Dr. rostriformis</i>
40	CAMS 179418	0,76–0,96	mg	9460±30 (10228–10407) / <i>Dr. rostriformis</i>
41	IGAN 6312	0,96–1,2	mg	9830±30 (11213–11249) / OB
42	CAMS 179419	0,96–1,2	mg	10825±30 (12053–12517) / <i>Dr. rostriformis</i>
43	CAMS 159399	IGS-3 5,20–5,35	hv2?	24630±80 (27896–28235) / <i>D. praetrigonoides</i>
44	CAMS 159403	IGS-3 5,20–5,35	hv2?	24700±80 (27981–28335) / <i>D. parallella</i>
45	CAMS 162564	IGS-3 10,30–11,05	hv1	>51200 / <i>D. ebersini</i>
46	CAMS 166530	IGS-3 26,05–26,10	hv1	>53700 / <i>D. subcatillus</i>
47	CAMS 162566	IGS-3 28,60–28,85	hv1	>51200 / <i>D. cristata</i>
48	CAMS 159400	IGS-3 35,70–35,90	hv1	44560±850 (45451–47111) / <i>D. subcatillus</i>
Участок 8				
49	CAMS 172868	T1-12 3,4–3,6	hv2?	23200±140 (26529–26950) / <i>D. sp</i>
50	CAMS 172869	IGS-3 24,2–24,4	hv1	>51900 / <i>D. sp</i>
51	CAMS 172870	IGS3 32,3–32,4	hv1	>51900 / <i>D. sp</i>
52	CAMS 172871	IGS3 55,4–55,5	gk	>50600 / <i>D. sp</i>
53	CAMS 172872	IGS3 56,45–56,5	gk	>51900 / <i>D. sp</i>

Примечания: стратиграфические горизонты: nk — новокаспийский, mg — мангышлакский, hv — хвалынский (1 — верхний, 2 — нижний), at — ательский, gk — гирканский. OB — органическое вещество, P — раковины.

горизонте нижнехвалынские *D. zhukovi*, *D. protracta*, *D. ebersini* присутствуют лишь в некоторых скважинах на разных уровнях и в единичных экземплярах, причем они упомянуты Г.И. Поповым [1983] и в составе гирканского слоя. Верхнехвалынский вид *D. praetrigonoides* определен среди раковин нижней хвалыны и даже гиркана. Все это не позволяет однозначно разделить хвалынские осадки на верхнехвалынский и нижнехвалынский подгоризонты, а также выделить гирканский подгоризонт по фауне.

Вторая неопределенность связана с полученными цифрами абсолютного возраста с использованием двух разновидностей радиоуглеродного метода, что допускает различную привязку выделяемых слоев к абсолютной стратиграфической шкале позднего неоплейстоцена.

В то же время сейсмоакустические материалы, сопоставленные с непрерывными разрезами скважин, позволяют выполнить стратиграфическую и возрастную интерпретацию, опираясь на реперные горизонты, уверенно выделяемые по их однозначным специфическим характеристикам. Такими реперами являются мангышлакский и ательский горизонты. На площади современного шельфа Северного Каспия они образовались во время глубоких регрессий, что отразилось в литологическом и флоро-фаунистическом составе вскрытых скважинами отложений; в своеобразных формах их залегания во врезках (озерные водоемы и дельтовые протоки) или в виде диагонально-слоистых продольных аккумулятивных тел; в положении в разрезах, разделяя трансгрессивные новокаспийский и хвалынский и хвалынский и гирканский морские горизонты.

Для самых нижних частей мангышлакских врез на участках 3–5 (глубины моря 9–17 м) установленный нами максимальный календарный возраст органогенных осадков превысил 12 тыс. лет. Сами врезки выработаны в верхнехвалынских отложениях, когда уровень моря достиг этих участков, опустившись примерно на 40 м после наивысшего уровня позднехвалынского моря.

Существуют разные оценки скорости падения уровня Каспийского моря за разные временные интервалы от нескольких десятков лет (5–10 см/год) до 2000–2500 тыс. лет (0,5–2 см/год) [Рычагов, 2011]. Если принять скорость в 2 см/год, то время снижения уровня моря на 40 м составило бы не менее 1–2 тыс. лет. Поэтому мангышлакская регрессия, скорее всего, началась более 12–13 тыс. лет назад во время молодого дриаса и аллереда (?). Это подтверждается AMS датировками раковин с участка 7 (12053–12517 кал лет BP, табл. 2). Поэтому время максимума позднехвалынской трансгрессии и возраст ее отложений не может быть моложе этих цифр. И измеренный нами возраст верхнехвалынских отложений, вскрытых на глубинах около 30 м (участок 6, ~12,9 тыс. ^{14}C лет), подтверждает этот вывод. Более молодые цифры возраста мангышлакских

отложений в пределах участка 6 объясняются более поздним выдвиганием сюда палеodelьты Волги.

Осадки ательского горизонта, залегающие на глубинах более 20 м ниже уровня дна, также заполняют палеопонижения, выработанные в толще гирканско-ательских отложений по мере развития ательской регрессии. Полученные цифры возраста по органическому материалу этих осадков (до 44 тыс. лет, табл. 2), скорее всего, свидетельствуют о времени формирования фаций заполнения этих палеопонижений — врезов. По нашим расчетам сами врезки возникли раньше на 5–10 тыс. лет, когда береговая линия отступила и достигла участков 7 и 8, а уровень моря снизился от максимальных отметок гирканской трансгрессии на 100–110 м [Безродных, Сорокин, 2004]. Следует отметить, что ниже врезов мощность регрессивной части обогащенных органическим детритом ательских осадков достигает 3–5 м. Если принять скорость накопления этой толщи в 25 см/тыс. лет, что близко к ее значениям для центральной и внешней части северокаспийского шельфа, то время ее образования составит не менее 10–15 тыс. лет. Сделанные расчеты позволяют оценить начало формирования ательских отложений на участках 7 и 8 (глубина моря 45–50 м) около 70 тыс. лет назад. Полученные недавно с использованием метода ОСЛ цифры возраста ательских лессовых отложений Поволжья в диапазоне 50–70 тыс. лет [Kurbanov et al., 2022; Taratunina et al., 2021; 2022; Yanina et al., 2017; Koltringer et al., 2020] подтверждают нашу предполагаемую оценку. Следовательно, возникновение врезов на участках 7 и 8, скорее всего, произошло не позднее 50 тыс. лет назад на максимуме ательской регрессии (МИС4) [Безродных и др., 2004].

Гирканские слои, судя по представленным цифрам АМС C^{14} и U/Th^{230} датирования, накопились в интервале от 62 до 122 тыс. лет назад (табл. 3). Эти цифры практически совпадают с данными ОСЛ датирования гирканских отложений Манычского пролива (107–119 тыс. лет) [Курбанов и др., 2018].

Приведенные цифры возраста новокаспийского, мангышлакского, ательского, гирканского (верхнехазарского) горизонтов обоснованы палеонтологическими данными, непротиворечивыми датировками, полученными разными методами (модификациями радиоуглеродного, U/Th , ОСЛ), их литологическими особенностями, положением и выраженностью на сейсмоакустических профилях.

Менее однозначными являются результаты определения времени накопления хвалынского горизонта. Изложенные выше соображения позволяют установить его верхнюю границу на уровне не моложе 12–13 тыс. лет назад (начало мангышлакской регрессии), что близко к возрасту максимального уровня позднехвалынской трансгрессии. Возраст же нижней границы определяется временем конца ательской регрессии и начала раннехвалынской трансгрессии, т. е. не моложе 50–60 тыс. лет.

Таблица 3

Сравнение результатов определения возраста разными методами

Участок (интервал отбора, м), горизонты	Видовой состав моллюсков р. Didacna	Возраст (тыс. лет)		
		радиоуглеродный		U/Th
		жидкостный	AMS	
Участок 3 (44,95–45,1) Гирканский	<i>D. subcatillus</i> , <i>D. cristata</i> , <i>D. sp.</i>	≥42150	51000±2000 55200±3200	204±24
Участок 3 (49,75–49,93) Верхнехазарский	<i>Corbicula fluminalis</i> , <i>D. nalivkini</i> , <i>D. sp.</i>	За пределами разрешения метода		221±31
Участок 3 (52,75) Верхне- нижнехазарский	<i>D.subcatillus</i> , <i>D. pallasii</i> , <i>D. shuraosenica</i>	За пределами разрешения метода		272±63
Участок 3 (61,0–63,3) Верхне- нижнехазарский	<i>Didacna nalivkini</i> , <i>Corbicula fluminalis</i> , <i>D. surachanica</i> , <i>D. vulgaris</i> , <i>D. pallasii</i>	За пределами разрешения метода		265±103
Участок 5 Гирканский	25,5 м <i>D. cf. sudcatillus</i> 35,4 м <i>D. cristata</i> , <i>D. subcatillus</i>	21,6 м 16900±120 35,5 м 25538±500	25,4 м >50600 35,5 м >51800	29,6 м пепел 85±7
Участок 5 (49,5–50,25) Верхний хазар (гиркан)	47,5 м неопределимые до вида обломки	Метод не применялся		101±9
Участок 5 (50,25–50,45) Гирканский	неопределимые до вида обломки	Метод не применялся		122±12
Участок 7 (10,3–11,3) Нижнехвалынский	<i>Didacna ebersini</i>	19950±630	>51200	–
Участок 7 (35,7–35,9) Нижнехвалынский?	<i>D. subcatillus</i>	31600±420	44560±860	–
Участок 8 (27,42) Гирканский (хвалынский?)	<i>Didacna subcatillus</i> <i>D. cf. cristata</i>	28,6 м 27430±610	24,4 м >51900	27,4 м 62±3

Минимальные цифры, полученные сцинтилляционным методом для самой верхней части верхнехвалыньских песков на участке 6 (глубина отбора 4,8–4,9 м ниже дна) составляют 12870±100 ¹⁴С лет ВР (14,5–15 тыс. кал лет), а в основании песчаной толщи — 15710±170 (~18–18,5 кал тыс. лет) (глубина отбора 11,0–11,5 м). В залегающих ниже нижнехвалыньских глинах и подстилающих их песчано-глинистых осадках, обогащенных раковинами моллюсков, на всех изученных участках цифры возраста колеблются от >16 до >30 ¹⁴С тыс. лет (от >20 до почти 36 тыс. кал лет ВР). Для гирканских слоев с участков 1 и 3, ранее отнесенных к ранней хвалыни, получены цифры >38, >39 и >42 ¹⁴С тыс. лет ВР.

В отличие от жидкостно-сцинтилляционного метода, в котором анализировался валовый раковинный материал большого объема, в AMS методе использовалось “точечное” датирование раковин отдельных характерных видов моллюсков. При этом получены как конечные, так и неконечные цифры возраста (табл. 2). Конечные даты изменяются от 23200±200 ¹⁴С лет ВР для верхней части хвалыньского горизонта (участок 8, интервал 3,4–3,6 м, *D. praetrigonoides*) до 56300±3300 ¹⁴С лет для его нижней части (Участок 4, интервал 21,4–21,5, *D. ebersini*, *D. subcatillus*, *D. parallela*). Неконечные даты изменяются от >48100 до >54000 ¹⁴С лет.

Сравнение результатов радиоуглеродного датирования свидетельствуют о значительно более древнем возрасте хвалыньских отложений при ис-

пользования AMS методики. И палеогеографические интерпретации на основе массива данных будут существенно различаться (табл. 1; 2) Поэтому возникает вопрос о том, насколько сопоставимы и достоверны полученные нами цифры возраста.

На примере участка 5 можно сравнить результаты датирования с использованием разных методик. В разрезе скважины для интервала 29,6–29,9 м по пепловому материалу U/Th методом получена цифра 85±7 тыс. лет, а для интервала 49–50 м по раковинам 101±9 и 122±12 тыс. лет (табл. 3). В интервалах 21,6–21,8 м и 35,5–35,7 м жидкостно-сцинтилляционным методом получены цифры 16900±120 и 25538±500 ¹⁴С лет ВР. Для уровней 25,4 м и 35,5–35,7 м AMS возраст составил >50600 и >51800 ¹⁴С лет соответственно. То есть, определенный по сцинтилляционной методике возраст интервала скважины оказался сильно заниженным (ранняя хвалынь), а по AMS методике он более достоверно с учетом U/Th датирования указывает на гирканский возраст осадков. Подобное совпадение отмечено и для участка 8 (табл. 3).

Аналогичная картина наблюдается для участков 3 и 4. Так, для нижней части хвалыньского горизонта, уверенно выделяемого на сейсмоакустических профилях (ССК-4 между ОГ4 и ОГ4-1) и по фауне, цифры сцинтилляционного метода не опускаются ниже 29–31 тыс. ¹⁴С лет ВР, а для подстилающих гирканских глин они близки и составляют 31–34 тыс. ¹⁴С лет и 42 тыс. ¹⁴С лет, несмотря на значительную разницу возраста между этими горизонтами, со-

ставляющую несколько десятков тысяч лет. Возраст, измеренный AMS методом (по характерным для нижней хвалыни *D. ebersini* и *D. subcatillus*) превосходят 50 тыс. ^{14}C лет, как и для гирканских осадков и коррелируется с возрастом ательского горизонта времени начала заполнения эрозионных врезов.

Заключение. Комплексный анализ материалов бурения и сейсмоакустического профилирования дает основание для выделения в непрерывных разрезах и определения времени накопления основных горизонтов верхнечетвертичных отложений на шельфе Северного Каспия. При этом полученные нами возрастные определения более достоверны в случае применения цифр возраста, полученных с использованием AMS разновидности радиоуглеродного метода, которые хорошо коррелируются с результатами уран-ториевого датирования.

1. Новокаспийский горизонт с возрастом подошвы 8,0–8,5 тыс. лет перекрывает с размывом более древние плейстоценовые отложения. В нем выделены три трансгрессивных слоя (интервалы 8401–8624 — 5273–5546 кал лет BP; 3086–3296 — 2924–3136 кал лет BP; 1519–1719 — 0 кал лет BP) и два разделяющих их регрессивных слоя, заполняющих дельтовые врезы, образовавшиеся во время понижения уровня моря.

2. Мангышлакский горизонт с несогласием перекрывает лежащие ниже осадки и заполняет речные и озерные врезы, выработанные в верхней половине толщи хвалыньских отложений, или образует аккумулятивные продельтовые тела во время одноименной

регрессии. Ее начало датируется на уровне не моложе 13 тыс. лет назад.

2. Хвалынский горизонт представлен двумя литологически различающимися подгоризонтами: верхним преимущественно песчаным по составу и нижним преимущественно глинистым. Время его накопление находится в интервале от 13–14 тыс. лет (максимальный уровень позднехвалынской трансгрессии) до 50–70 тыс. лет назад (минимальный уровень ательской регрессии).

3. Ательский горизонт имеет эрозионную верхнюю границу и состоит из двух частей. Верхняя часть представляет собой фацию заполнения эрозионных врезов типа речных протоков и озерных водоемов, образованных в процессе продвижения устьев рек, а нижняя часть — сплошной покров регрессивных отложений. Расчетная нижняя граница горизонта находится на уровне 60–70 тыс. лет назад.

4. Гирканский горизонт постепенно сменяет вышележащие осадки. Возраст его подошвы по данным U/Th датирования определен на уровне 110–120 тыс. лет.

5. Возраст верхнехазарско (?) — нижнехазарско-го горизонтов превышает 120 тыс. лет.

Финансирование. Работа выполнена в рамках госзадания «Динамика процессов осадочного породообразования (современного и в геологическом прошлом) в различных структурно-геологических условиях и их эволюция» и «Палеогеографические реконструкции природных геосистем и прогнозирование их изменений». Малакофаунистические исследования проведены при поддержке РНФ (проект № 21-44-04401).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андрусов Н.И. О древних береговых линиях Каспийского моря // Ежегодник по геол. и минерал. России. 1900. Т. 4, № 1–2. С. 3–16.
- Безродных Ю.П., Романюк Б.Ф., Делия С.В. и др. Биостратиграфия и строение верхнечетвертичных отложений и некоторые черты палеогеографии Северного Каспия // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2004. Т. 12, № 1. С. 114–124.
- Безродных Ю.П., Сорокин В.М., Янина Т.А. Об ательской регрессии Каспийского моря // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2015. № 2. С. 77–85.
- Курбанов Р.Н., Янина Т.А., Мюррей А.С., Борисова О.К. Гирканский этап в позднеплейстоценовой истории Манычской депрессии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2018. № 3. С. 77–88.
- Попов Г.И. Плейстоцен Черноморско-Каспийских проливов. М.: Наука, 1983. 216 с.
- Рычагов Г.И. Плейстоценовая история Каспийского моря. М.: Изд-во МГУ, 1997. 268 с.
- Рычагов Г.И. Колебания уровня Каспия: причины, последствия, прогноз // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2011. № 2. С. 4–13.
- Свиточ А.А., Янина Т.А. Четвертичные отложения побережий Каспийского моря. М.: РАСХН, 1997. 267 с.
- Федоров П.В. Плейстоцен Понто-Каспия. М.: Наука, 1978. 165 с.
- Янина Т.А. Неоплейстоцен Понто-Каспия: биостратиграфия, палеогеография, корреляция. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2012. 264 с.
- Янина Т.А., Свиточ А.А., Курбанов Р.Н. и др. Опыт датирования плейстоценовых отложений Нижнего Поволжья методом оптически стимулированной люминесценции. 2017 // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. № 1. С. 21–29.
- Arslanov Kh.A., Yanina T.A., Chepalyga A.L. et al. On the age of the Khvalynian deposits of the Caspian Sea coast according to ^{14}C and $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ methods // Quat. International, Pergamon Press Ltd. (United Kingdom), 2016. Vol. 409. P. 81–87.
- Bezrodnikh Y.P., Sorokin V.M. On the age of the Mangyshlakian deposits of the northern Caspian sea // Quaternary Research, Academic Press (United States). 2016. Vol. 85, № 2. С. 245–254.
- Bezrodnikh Y., Yanina T., Sorokin V., Romanyuk B. The Northern Caspian Sea: Consequences of climate change for level fluctuations during the Holocene // Quat. International, Pergamon Press Ltd. (United Kingdom), 2020. № 540. С. 68–77.
- Heaton T.J., Köhler P., Butzin M., Bard E. et al. Marine20 — the marine radiocarbon age calibration curve (0–55,000 cal BP) // Radiocarbon. 2020. Vol. 62.
- Költringer C., Stevens T., Brad'ak B. et al. Environmental magnetic study of Late Quaternary environmental evolution in Lower Volga loess sequences, Russia // Quaternary Res.

17. Kurbanov R.N., Buylaert J.P., Stevens T. et al. A detailed luminescence chronology of the Lower Volga loess-palaeosol sequence at Leninsk.

18. Ponomareva V., Danisik M., Portnyagin M. et al. Distal tephras along the SE European margin date powerful explosive eruptions from the Elbrus volcanic center (Greater Caucasus) // Quaternary Science Reviews.

19. Sorokin V.M., Yanina T.A., Bezrodnykh Yu.P., Romanuk B.F. Identification and age of submarine Girkanian sediment beds (Upper Pleistocene) in the Caspian Sea // Quat. International. 2018. Vol. 465. P. 152–157.

20. Stuiver M., Reimer P.J. CALIB rev.8 // Radiocarbon. 1993. Vol. 35. P. 215–230.

21. Taratunina N.A., Buylaert J.P., Kurbanov R.N. et al. Late Quaternary evolution of lower reaches of the Volga River (Raygorod section) based on luminescence dating.

22. Tudryn A., Tucholka P., Chalif F. et al. Late Quaternary Caspian Sea environment: Late Khazarian and early Khvalynian transgressions from the lower reaches of the Volga River // Quat. International. 2013. Vol. 292. P. 193–204.

Статья поступила в редакцию 12.05.2023,
одобрена после рецензирования 05.06.2023,
принята к публикации 16.08.2023