

УДК 551.89:[550.42:546.027](262.81)

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ БИОГЕННЫХ КАРБОНАТОВ И ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ГОЛОЦЕНА НА ЗАПАДНОМ ПОБЕРЕЖЬЕ КАСПИЯ

© 2004 г. **Х. Вонхоф, М. С. Касатенкова**, член-корреспондент РАН **Н. С. Касимов, С. Б. Крооненберг, М. Ю. Лычагин, В. Ю. Слободян**

Поступило 18.09.2003 г.

Каспийское море уникально тем, что его уровень многократно испытывал сильные колебания в течение геологической истории. Чередование трансгрессий и регрессий способствовало формированию на побережье комплекса разновозрастных морских террас, являющихся геоморфологическим отражением истории развития Каспия. Последней крупной трансгрессией была новокаспийская. Она началась около 10 тыс. лет назад, максимальный уровень достигал отметок –20–22 м [3].

Для понимания природы колебаний Каспия в прошлом необходима реконструкция палеогеографических условий. Нами сделана попытка палеорекострукции одного из этапов новокаспийской трансгрессии на основе изучения содержания стабильных изотопов кислорода и углерода, а также некоторых металлов в раковинах двусторчатых моллюсков. Отбор образцов в раковинах производился по слоям нарастания, что позволило выявить сезонную динамику их изотопного и химического составов и, кроме того, рассчитать температуру и соленость воды на изучаемом временном этапе. На побережье Каспия подобных исследований ранее не проводили.

Полевые материалы собраны в 2002 г. на дагестанском побережье Каспия в районе базы МГУ Турали-7, расположенной в 5 км к югу от Каспийска. Образцы палеофауны для изотопных анализов отобраны в обнажении на восточном берегу оз. Большое Турали (ОТ-21).

Верхние 95 см данного обнажения представляют собой песчано-галечниковую толщу с раковинами моллюсков. Средняя часть обнажения неоднородна: 95–104 см – рыжий с коричневыми пятнами песок с мелкой галькой и раковинами, 104–110 см – сизовато-светло-коричневый с ржавыми пятнами опесчаненный средний суглинок с единичными раковинами,

110–116 см – белесый мелкозернистый песок с тонкими (2–3 мм) светло-коричневыми суглинистыми прослоями, 116–120 см – бурая супесь с ржавыми пятнами и прослоями. В нижней части обнажения (до 175 см) вскрывается белесый мелкозернистый песок с редкими раковинами моллюсков.

В этом обнажении вскрыт полный регрессивно-трансгрессивный комплекс осадков. Мелкозернистый песок в нижней части осаждался, по всей вероятности, в относительно спокойных морских условиях на стадии понижения уровня моря. Перекрывающая его бурая супесь представляет собой погребенную маршевую почву, сформировавшуюся на осушенной территории. Наличие светло-коричневых прослоев в вышележащем мелкозернистом песке указывает на периодическое развитие сероводородной среды и, скорее всего, свидетельствует о начале нового подъема уровня моря. Подобные слоистые отложения с ожелезненными прослоями характерны для современного пляжа и формируются в тыловой части наступающего берегового вала на стадии трансгрессии. Выше 110 см в изучаемом обнажении залегает трансгрессивная серия осадков, включающая собственно лагунные отложения, песчаные осадки приморской части лагуны и отложения берегового вала, венчающие разрез.

Для изотопных исследований нами отобраны раковины моллюсков *Didacna cf. trigonoides* из трех слоев описываемой толщи. Раковины сохранились в парных створках, что свидетельствует об их нахождении *in situ* и репрезентативности для палеогеографических реконструкций. Современные *Didacna cf. trigonoides* живут в песчано-илистых осадках на мелководье при глубине воды менее 30 м и солености вод от 7 до 12‰ [2]. Условия обитания ископаемых моллюсков, очевидно, были сходными.

Возраст раковин определялся по содержанию ¹⁴C методом ускорительной масс-спектрометрии (AMS) в лаборатории Утрехтского университета (Нидерланды). Датирование показало, что раковины, найденные в морских песках завершающей фазы регрессии (образец DAG10A), имеют абсолютный возраст 2500 лет. Раковины из вышележа-

Свободный университет Амстердама, Нидерланды
Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова
Делфтский технологический университет,
Нидерланды

щих лагунных осадков – 2300–2400 лет (DAG9B и DAG11). Очевидно, на рубеже 2500 лет назад завершилась одна из регрессивных стадий новокаспия и начался очередной подъем уровня моря [11].

Изотопный состав кислорода и углерода определялся в лаборатории масс-спектрометрии Свободного университета (Vrije Universiteit) Амстердама. Из каждой раковины при помощи специального сверхтонкого сверла “Merchantek Micromill” было отобрано для этой цели по 70–100 образцов. В нечетных образцах на приборе “Finnigan MAT-252” определялись $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^{13}\text{C}$ биогенных карбонатов. В четных образцах методом атомно-абсорбционной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-AES) было определено содержание Sr, Ba, Fe, Mg.

Значения $\delta^{18}\text{O}$ в изученных нами раковинах сильно дифференцированы (рис. 1). Выделяется целый ряд циклов колебаний этой величины, что можно объяснить сезонной изменчивостью условий обитания моллюсков, в первую очередь температуры воды.

В раковинах двустворчатых моллюсков карбонат кальция отлагается в условиях изотопного равновесия с водой [7]. Коэффициент разделения реакции изотопного обмена CaCO_3 –вода зависит от температуры, поэтому изотопный состав кислорода CaCO_3 , равновесного с водой, также определяется температурой [4]. Эта зависимость для арагонитового материала раковин двустворчатых моллюсков выражается формулой: $T(^{\circ}\text{C}) = 20.6 - 4.34(\delta^{18}\text{O}_{\text{карб}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{вода}})$ [9].

Величина $\delta^{18}\text{O}$ воды в значительной мере определяется ее соленостью, что имеет большое значение для каспийских вод, соленость которых варьирует от 0 до 13‰. Зависимость $\delta^{18}\text{O}$ вод Каспийского моря от их солености была получена В.С. Брезгуновым [1]. В частности, для вод с соленостью 12‰ величина $\delta^{18}\text{O}$ составляет -3.3‰ . Используя эти зависимости и зная соленость морских вод, можно определить температуру воды, в которой образовалась раковина моллюска. Соленость морских вод в период формирования изученных нами отложений, по-видимому, была близка к современной [13].

Расчеты показали, что для раковины DAG9B (рис. 1а) при солености воды 12‰ минимальная температура составляет 6°C , а максимальная – 21°C . Полученные данные свидетельствуют, кроме того, о замедлении скорости прироста раковины по мере старения моллюска (наблюдаемые пики становятся уже). По-видимому, этот моллюск жил в условиях мелководной лагуны, где температура воды изменялась достаточно сильно от сезона к сезону при нормальной солености морских вод.

Близкие результаты получены нами и для других изученных раковин *Didacna cf. trigonoides*: во всех случаях палеотемпературы находятся в пределах от 4 до 25°C . В то же время условия развития моллюска, обитавшего в море, по-видимому,

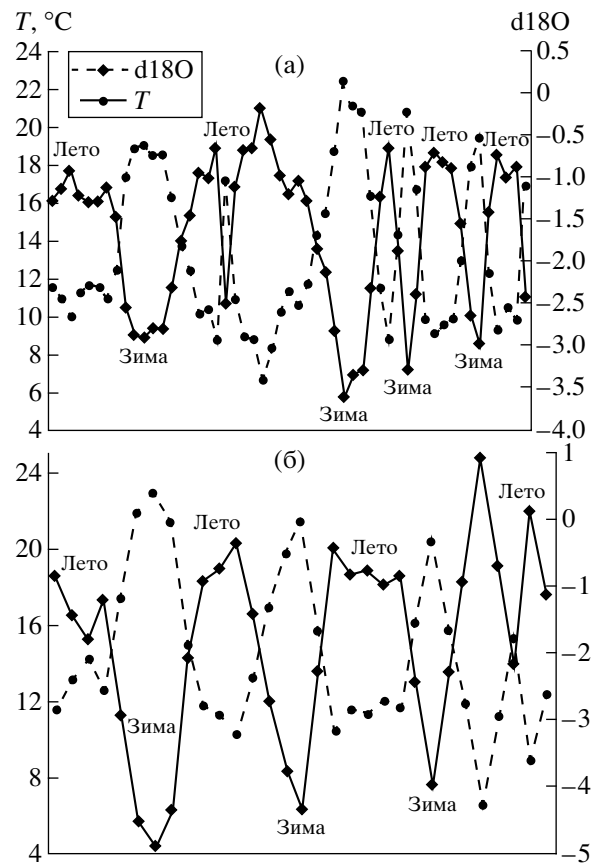


Рис. 1. Значения $\delta^{18}\text{O}$ (d18O) и расчетные температуры воды для раковин моллюска DAG9B (а) и DAG10A (б) (на всех рисунках рост раковины – слева направо).

были более благоприятными по сравнению с моллюсками, жившими в лагуне. На большую скорость роста раковины DAG10A указывают широкие пики на графике $\delta^{18}\text{O}$ (рис. 1б). Можно отметить также тенденцию к повышению температуры воды по мере развития моллюска.

Распределение $\delta^{13}\text{C}$ в раковине моллюска DAG9B (рис. 2) менее контрастно, чем $\delta^{18}\text{O}$. Анализ графиков показывает, что на раннем этапе развития моллюска наблюдалась обратная связь между $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^{13}\text{C}$, а для взрослой стадии характерно синхронное изменение этих показателей. Как отмечалось выше, большое содержание ^{13}C в раковинах говорит об интенсивном фотосинтезе и обилии $\text{C}_{\text{орг}}$ в морской воде, поэтому высокие значения $\delta^{13}\text{C}$ должны наблюдаться в летний период, характеризующийся минимальными величинами $\delta^{18}\text{O}$ [9]. Именно такое соотношение стабильных изотопов углерода и кислорода отмечается в первые годы развития раковины.

Изменение соотношения изотопов на обратное в последние годы жизни моллюска может быть связано с изменением условий среды: развитием бескислородной (сероводородной) обстановки в придонном слое воды и донных осадках. Процессы сульфатредукции наиболее активно

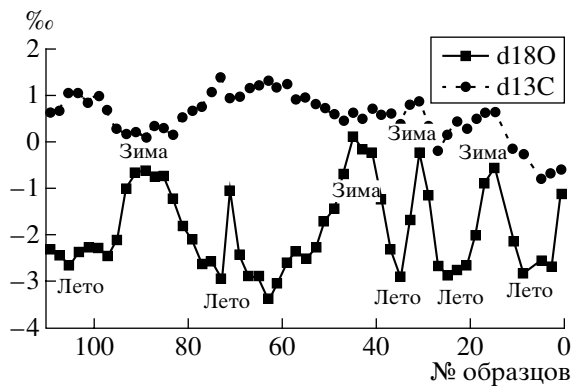


Рис. 2. Распределение $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^{13}\text{C}$ в раковине моллюска DAG9B.

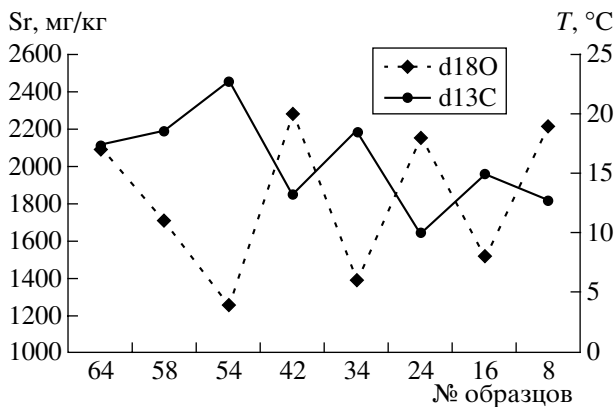


Рис. 3. Распределение Sr в раковине моллюска DAG9B и значения температуры, рассчитанные по $\delta^{18}\text{O}$.

идут летом. Это сопровождается снижением интенсивности фотосинтеза и соответствующим уменьшением $\delta^{13}\text{C}$. Зимой, когда сульфатредукция ослаблена, а также более интенсивно идет перемешивание морских вод, содержание кислорода в воде возрастает и фотосинтез идет более активно. Это приводит к росту содержания ^{13}C в биогенных карбонатах. Уменьшение темпов прироста материала раковины на поздних стадиях развития моллюска, проявляющееся в сужении пиков $\delta^{18}\text{O}$ на рис. 1б, также может быть связано с ухудшением условий его местообитания.

Еще одним индикатором изменения внешних условий служит распределение Sr в раковине моллюска [6, 10, 12]. Ранние стадии развития моллюска характеризовались достаточно интенсивным накоплением этого металла, причем главным образом в зимний период (рис. 3). Летом содержание Sr в воде понижено в связи с его активным поглощением бурно развивающимся живым веществом. Отмирание опускающихся на дно растительных остатков в холодную половину года определяет увеличение содержания этого металла в морской воде, а следовательно, и в находящихся в динамичном равновесии с ней раковинах беспозвоночных [8]. С ростом раковины отмечается тенденция к снижению интенсивности

накопления металлов. По-видимому, это связано с онтогенетическим эффектом [5], проявляющимся в уменьшении зависимости организма от внешних условий по мере его роста. Для бария были отмечены те же закономерности распределения, что и для стронция. Для других металлов – Fe, Mg, Mn – также наблюдался устойчивый онтогенетический тренд.

Таким образом, полученные результаты показывают возможность восстановления палеогеографических условий в бассейне Каспийского моря по изотопному и химическому составам биогенных карбонатов. Изменение значений $\delta^{18}\text{O}$ в материале раковин моллюсков по мере их роста дает информацию о температурном режиме и солености палеобассейнов. Значения $\delta^{13}\text{C}$ индицируют интенсивность накопления органического вещества в морских водах. Циклические изменения содержания Sr и Ba в раковинах моллюсков свидетельствуют о возможности использования этих элементов в качестве индикаторов палеоусловий бассейна.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Нидерландского научного фонда (проект 47.009.003) и РФФИ (проекты 02-05-64547, 02-05-64963).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брезгунов В.С., Нечаев В.В., Якимова Т.В. В сб.: Материалы метеорологических исследований. М. 1987. № 12. С. 54–58.
2. Комплексное изучение моллюсков для целей стратиграфии и палеогеографии/Под ред. А.А. Свиточа. М.: Изд-во МГУ, 1981. 180 с.
3. Рычагов Г.И. // Вестн. МГУ. Сер. 5, География. 1993. № 2. С. 38–49.
4. Теис Р.В., Найдун Д.П. Палеотермометрия и изотопный состав кислорода органиогенных карбонатов. М.: Наука, 1973. 256 с.
5. Dodd J.R. // Geochim. et cosmochim. acta. 1965. V. 29. P. 385–398.
6. Dymond J., Suess E., Lyle M. // Paleocyanography. 1992. V. 7. P. 163–181.
7. Epstein S., Mayeda T. // Geochim. et cosmochim. acta. 1953. V. 4. P. 213–214.
8. Francois R., Honjo S., Maganini S., Ravizza G. // Global Biogeochem. Cycles. 1995. V. 9. P. 289–303.
9. Grossman E.L., Ku T.-L. // Chem. Geol. 1986. V. 59. P. 59–74.
10. Hallam A., Price N.B. // Geochim. et cosmochim. acta. 1968. V. 32. P. 319–328.
11. Kroonenberg S.B., Kasimov N.S., Abdurakhmanov G.M. В сб.: Колебания уровня моря в голоцене и биоразнообразии в бассейне Каспия. Махачкала: Изд-во ДГУ, 2002. С. 68–72.
12. Palacios R., Orensanz J.M., Armstrong D.A. // Estuarine Coastal Shelf Sci. 1994. V. 39. P. 313–327.
13. Vonhof H.B., Wesselingh F.P., Kroonenberg S.B. et al. В сб.: Колебания уровня моря в голоцене и биоразнообразии в бассейне Каспия. Махачкала: Изд-во ДГУ, 2002. С. 64–68.