

Ю. Д. ЗАХАРОВ, Д. П. НАЙДИН, Р. В. ТЕЙС

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ КИСЛОРОДА РАКОВИН РАННЕТРИАСОВЫХ ГОЛОВОНОГИХ АРКТИЧЕСКОЙ СИБИРИ И СОЛЕННОСТЬ БОРЕАЛЬНЫХ БАССЕЙНОВ В НАЧАЛЕ МЕЗОЗОЯ

Применение результатов масс-спектрометрического анализа изотопного состава кислорода органических карбонатов для получения данных о физико-географических условиях морей прошлого (и прежде всего для определения палеотемператур) в настоящее время ограничивается материалом, происходящим преимущественно из кайнозойских, меловых и юрских отложений. Опубликованные определения изотопного состава кислорода δO^{18} органических карбонатов из более древних толщ пока еще редки (Тейс, Найдин, 1973; Lowenstam, 1964; Kaltenecker, 1967; Fabricius et al., 1970_{1,2}).

Это связано с двумя обстоятельствами. Во-первых, сохранность первичных значений δO^{18} зависит от возраста исследованного материала: чем древнее породы, тем выше степень диагенетических изменений первичных значений δO^{18} , т. е. концентраций O^{18} , накопленных в карбонатах скелетов при жизни организмов.

Во-вторых, δO^{18} органических карбонатов зависит от δO^{18} морской воды, в которой эти карбонаты образовались. Изотопный состав кислорода воды — в о д н ы й ф о н — современных бассейнов необычайно изменчив, и вследствие этого его влияние на δO^{18} скелетных карбонатов ныне живущих организмов крайне сложно. Выяснение характера воздействия водного фона в прошлом на формирование δO^{18} ископаемых карбонатов часто наталкивается на пока еще непреодолимые затруднения, при этом чем дальше от настоящего геологического времени, чем древнее морской бассейн, тем сложнее интерпретация роли водного фона.

Упомянутые два осложнения при истолковании цифр масс-спектрометрических определений δO^{18} , равно как и возможности использования этих цифр при решении некоторых задач геологии, подробно рассмотрены в недавно опубликованной работе Р. В. Тейс и Д. П. Найдина (1973).

Ниже изложены сведения об изотопном составе кислорода карбоната раковин раннетриасовых аммоноидей, наутилоидей, белемноидей и двустворчатых моллюсков Арктической Сибири. Приводимые данные представляют большой интерес в двух отношениях: во-первых, они содержат первую информацию об изотопном составе кислорода скелетных карбонатов некоторых организмов раннего триаса и, во-вторых, полученные результаты могут быть использованы для выявления своеобразных особенностей химизма вод Бореального бассейна, существовавших, вероятно, по крайней мере в начале мезозоя.

МАТЕРИАЛ

Основной материал по триасовым моллюскам, исследованным авторами настоящей статьи, происходит из разреза отложений оленекского яруса устья р. Оленек (ручей Менгилях), выбранного Л. Д. Кипарисовой

и Ю. Н. Поповым (1956) в качестве стратотипического. Разрез сложен черными глинистыми сланцами, содержащими многочисленные конкреции глинисто-карбонатного состава с хорошо сохранившимися аммоноидеями (крупные скопления), наутилоидеями, белемноидеями, мелкими двустворчатými моллюсками, гастроподами и скафоподами (зона *Olepe-kites spiniplicatus*).

Наряду с моллюсками р. Оленек¹, изотопному анализу подвергались отдельные кальцитовые раковины из отложений индского яруса Восточного Верхоянья, оленекского яруса Южного Приморья и зоны *Columbites* Запада США (из коллекции проф. Б. Каммела).

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Пробы для изотопного анализа отбирались из различных участков стенки раковин и разных септ одних и тех же экземпляров, а также из раковин, встречающихся совместно в отдельных конкрециях. Исследовались карбонаты, представленные существенно арагонитом, смесью кальцита и арагонита и, наконец, чистым кальцитом (последние пробы были отобраны из полностью перекристаллизованных раковин). Полученные по триасовым образцам данные сопоставлялись с результатами рентгеноструктурного и спектрального анализов (Захаров, Худоложкин, 1969), выполненных в Дальневосточном геологическом институте ДВНЦ АН СССР.

ОСОБЕННОСТИ ДИАГЕНЕЗА АРАГОНИТОВЫХ РАКОВИН

Сопоставление данных о содержании стронция, минеральном составе и концентрации O^{18} позволяет с известной долей условности наметить в арагонитовых раковинах раннетриасовых моллюсков Востока СССР (табл. 1, рис. 1) пять последовательных стадий диагенетических изменений.

1. *Стадия ослабления кристаллической решетки.* Начальная стадия диагенеза наиболее заметно проявляется в изменении содержания стронция на отдельных участках раковин. Наряду с некоторым уменьшением содержания стронция, способствующим перекристаллизации первичного карбоната, отдельные участки раковины обогащены стронцием, что связано, вероятно, с адсорбцией на поверхности наружного слоя. Действительные масштабы вторичного изменения в содержании стронция на ранних стадиях диагенеза установить трудно. По данным Р. Рогланда и др. (Rogland et al., 1969), значительные изменения отношения Sr/Ca могли быть связаны с действием неорганических процессов в раковинах ископаемых моллюсков до их перекристаллизации. Рассматриваемые диагенетические изменения, выраженные в той или иной степени, затушевывают особенности первичного распределения стронция в раковине, обусловленного, вероятно, температурным режимом ее образования. С вариацией солёности вод, в которых обитал организм, изменения в содержании стронция обычно не связывают (Hallam, Price, 1968; Сакс и др., 1972).

В начале диагенетических процессов, совершающихся в раковине, заметные изменения в содержании стронция, по всей вероятности, не сопровождаются или почти не сопровождаются перекристаллизацией (раковина цефалопод нацело сложена арагонитом, возможная примесь вторичного кальцита не превышает 1—5%); содержание O^{18} соответствует наиболее высокому уровню (δO^{18} составляет в среднем около -6 — -7%).

2. *Стадия слабой перекристаллизации.* Происходит дальнейшее изменение концентрации стронция в разных участках раковины (процесс идет неравномерно и, как правило, в сторону уменьшения содержания).

¹ Лено-Оленекское междуречье и Таймыр являются единственными в мире районами, где известны раковины раннетриасовых моллюсков, сохранившие арагонит.

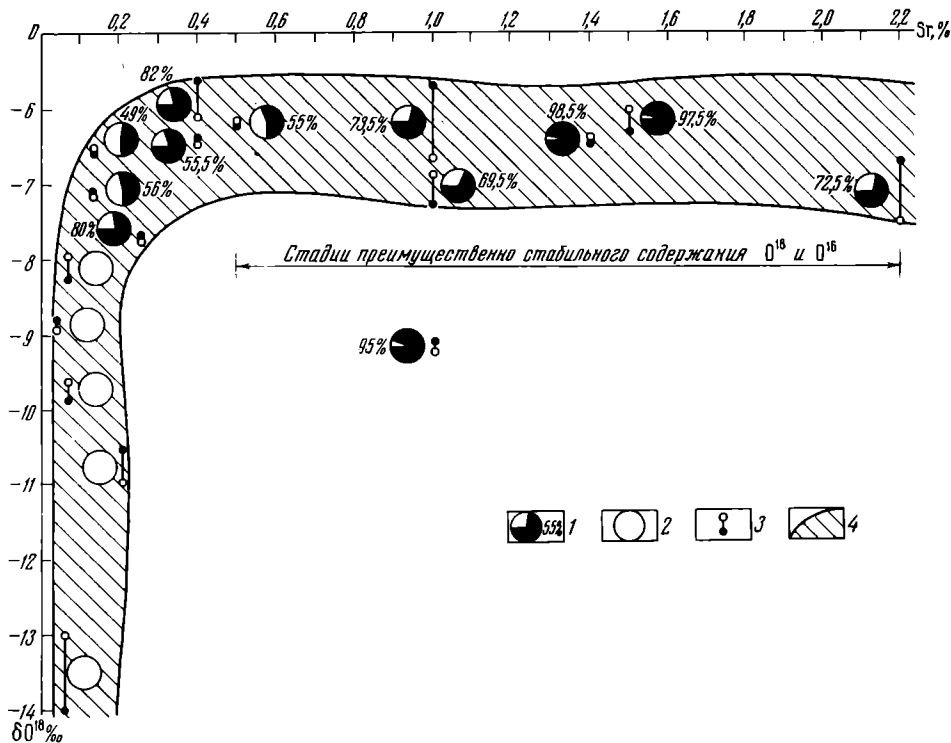


Рис. 1. Зависимость значения δO^{18} от содержания стронция и минеральной формы карбоната раковины

1 — диаграмма, отображающая процентный состав арагонита в раковине (в данном случае 72,5%); 2 — диаграмма, отображающая 100%-ный состав кальцита в раковине; 3 — значения δO^{18} в пробе (мелким черным кружком обозначено значение δO^{18} непрокален., белым — прокален.); 4 — возможные пределы вариации $\delta^{13}C$

Вынос стронция сопровождается на этой стадии диагенеза заметным замещением арагонита кальцитом (окончание стадии мы условно фиксируем по накоплению примерно 20—30% вторичного кальцита). Содержание изотопа O^{18} по сравнению с концентрацией стронция значительно более стабильно и продолжает соответствовать наиболее высокому уровню.

3. *Стадия значительной перекристаллизации.* В раковинах, содержащих около 50% вторичного кальцита, концентрации стронция значительно ниже, чем это наблюдается у большинства существенно арагонитовых образований. В связи с этим особенно интересно отметить, что содержание O^{18} в таких измененных раковинах все еще соответствует наиболее высокому уровню.

4. *Стадия существенной перекристаллизации.* Существование этой, вероятно сравнительно кратковременной, стадии, характеризующейся заметным изменением в изотопном составе органогенного карбоната, лишь предполагается.

5. *Стадия полной перекристаллизации.* Кальцитовые раковины раннетриасовых головоногих моллюсков Арктической Сибири, Верхоянья, Южного Приморья и Запада США отличаются крайне низкой концентрацией стронция и обычно повышенными — магния и железа. Содержание изотопа O^{18} в них соответствует наиболее низкому уровню (δO^{18} колеблется в пределах от -9 до -15,0‰).

Ранее рядом исследователей (Kaltenegger, 1967; Jordan, Stahl, 1970; Stahl, Jordan, 1969) было высказано предположение о том, что сохранность арагонита в скелетных остатках свидетельствует также и о сохранности первичных значений δO^{18} .

Таблица 1

Данные определения δO^{18} в прокаленных и непрокаленных пробах раковин нижнетриасовых амmonoидей и наутилоидей Арктической Сибири, Южного Приморья и Запада США

№ на рис. 2 и 3	№ образца	Форма, местонахождение	Возраст	Минеральный состав, степень сохранности	δO^{18}			содержание Sr, %
					непрокаленная	прокаленная	разность прокаленная—непрокаленная	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Ceratitida						
1	100/803	Otoceras boreale Spath., Верхоянье	Индский ярус	Ca 100%	-15,95	-15,25	+0,70	
2	37/802	Nordophicoceras schmidti (Mojs.)	Оленекский ярус	Arg 72,5%	-6,83	-7,57	-0,74	2,20
3	107/802	То же	То же	Внешне неизменная	-6,58	-6,90	-0,32	
4	38/802	N. dentosum (Mojs.)	»	Arg 49,5%	-8,10	-8,15	-0,05	1,00
5	150/802	N. eumphalus (Keys.) morpha A	»	»	-12,71	-12,10	+0,61	
6	145/802	N. eumphalus (Keys.) morpha B	»	Внешне неизменная	-9,68	-10,69	-1,01	
7	50/802	Svalbardiceras sibiricum (Mojs.)	»	Arg 69,5%	-6,54	-7,27	-0,73	1,00
8	403/802	Keyserlingites middendorffi (Keys.) morpha B	»	Внешне неизменная	-7,32	-7,12	+0,20	
9a	271/802	K. middendorffi (Keys.) morpha A	»	Неизменный участок раковины—Arg	-8,41	-9,09	-0,68	
9b	271a/802	K. middendorffi (Keys.) morpha A	»	Диagenетически измененный участок—Ca	-11,09	-11,45	-0,36	
10	60/802	K. middendorffi (Keys.)	»	Arg 98,5%	-6,46	-6,45	+0,01	
11	26/802	Olenekites spiniplicatus (Mojs.)	»	Внешне неизменная	-7,39	-8,40	-1,01	
13	417/802	Olenekites (?) gracialis (Mojs.)	»	То же	-6,39	-6,93	-0,54	
14	63/802	Keyserlingites subrobustus (Mojs.)	»	Arg 97,0%	-7,79	-7,78	+0,01	
15	414/802	Olenekites (?) altus (Mojs.)	»	Внешне неизменная	-7,15	-7,37	-0,22	
16	246/802	Arctopronites sp.	»	То же	-7,46	-8,24	-0,78	
17	52/802	Svalbardiceras sibiricum (Mojs.)	»	Arg 56,0%	-7,27	-7,33	-0,06	0,13
18	406/802	То же	»	Внешне неизменная	-7,13	-7,70	-0,57	
19	405/802	Prosphingites czekanowskii (Mojs.)	»	То же	-5,16	-5,27	-0,11	
20a	47/802	То же	»	Arg 55,5%	-6,22	-6,19	+0,03	0,50

206	47a/802	То же	То же	Арг 88,5%	-6,09	-5,38	+0,21	
21a	48/802	»	»	Арг 55,5%	-6,41	-6,51	-0,10	0,40
216	48a/802	»	»	Арг 75,5%	-5,74	-6,71	-0,97	1,00
22a	296/802	Keyserlingites middendorffi (Keys.)	»	Внешне неизменная	-8,15	-8,69	-0,54	
22a	296a/802	То же	»	То же	-8,25	-9,78	-1,53	
23	410/802	Boreomeekoceras keyserlingi (Mojs.)	»	»	-6,59	-7,56	-0,97	
24	256/802	То же	»	»	-6,60	-7,30	-0,70	
25	45/802	»	»	Арг 80,0%	-7,69	-7,78	-0,09	0,25
26	416/802	Anapenaspis sp.	»	Внешне неизменная	-5,31	-5,05	+0,26	
28	401/802	Olenekites spiniplicatus (Mojs.) morpha A	»	Из одной конкреции; внешне неизменная	-6,71	-6,74	-0,00	
29	402/802	O. spiniplicatus (Mojs.) morpha B	»	То же	-7,22	-7,85	-0,63	
30	411/802	То же	»	»	-8,12	-8,67	-0,55	
31	412/802	Nordophioceras schmidti (Mojs.)	»	»	-7,40	-7,92	-0,52	
32a	290/802	Keyserlingites middendorffi (Keys.) morpha A	»	Внешне неизменный участок раковины	-8,22	-8,65	-0,43	
326	290a/802	То же	»	Измененный участок стенки—Ка 100%	-14,02	-13,93	+0,09	0,05?
33a	501/802	Olenekites spiniplicatus (Mojs.)	»	Диagenетически измененная часть раковины— Ка 100%	-15,55	-15,01	+0,54	
336	501a/802	То же	»	То же	-15,42	-15,13	+0,29	
34	502/802	Nordophioceras schmidti (Mojs.)	»	Из той же конкреции	-14,50	-14,15	+0,35	
35	503/802	Keyserlingites subrobustus (Mojs.)	»	Внешне неизменный участок раковины	-8,66	-9,44	-0,78	
36a	322/802	То же	»	Неизменный участок септы—Арг	-6,39	-7,07	-0,68	
366	322a/802	Keyserlingites subrobustus (Mojs.)	»	Измененный участок септы—Ка	-8,27	-7,98	+0,29	0,06
37a	504/802	K. middendorffi (Keys.)	»	Арг	-7,66	-8,41	-0,75	0,10
376	504a/802	То же	»	Кальцит, заполняющий камеру	-15,38	-15,72	-0,34	0,01
38a	505/802	»	»	Преимущественно Арг	-8,35	-8,33	+0,02	
386	505a/802	»	»	Диagenетически измененный участок раковины —Ка 100%	-12,24	-13,00	-0,85	
39a	94/802	»	»	Преимущественно Арг	-8,68	-8,96	-0,28	0,01?
396	94a/802	»	»	—Ка 100%	-6,28	-6,36	-0,08	
39в	946/802	»	»	Преимущественно Арг	-6,68	-7,31	-0,63	1,00?
39г	94в/802	»	»	То же	-6,56	-6,73	-0,17	

Таблица 1 (продолжение)

№ на рис. 2 и 3	№ образца	Форма, местонахождение	Возраст	Минеральный состав, степень сохранности	δO ¹⁸			содержание Sr, %
					непрокаленная	прокаленная	разность прокаленная—непрокаленная	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
39д	94г/802	То же	То же	Кальцитовый прослой линзовидной формы	-10,77	-10,93	-0,16	0,20
40	445/801	Keyserlingites miroshnikovi Burij et Zharņikova, Ю. Приморье	»	Ка 100%	-9,88	-9,65	+0,23	0,06
41	2а/805	Columbites parisianus Hyatt et Smith, США	»	Ка 100%	-8,78	-8,98	-0,20	0,03
	404/802	Nordophiceras schmidti (Mojs.)	»	Внешне неизменная	-5,02			
	415/802	Olenekites (?) altus (Mojs.)	»	То же	-6,60			
	158/802	Karangatites sp.	»	»	-6,60			
	413/802	Svalbardiceras sibiricum (Mojs.)	»	»	-7,16			
	407/802	Hemilecanites sp.	»	»	-5,98			
	408/802	То же	»	»	-6,08			
	409/802	Sibirites eichwaldi Mojs.	»	»	-9,13			
	418/802	Keyserlingites subrobustus (Mojs.)	»	Септа 2; внешне неизменная	-8,46			
	418а	То же	»	Септа 3; »	-6,95			
418б	»	»	Септа 4; »	-8,87				
418г	»	»	Септа 6; »	-9,81				
418д	»	»	Септа 7; »	-7,00				
42	36/802	Agoniatitida	»	Арг 49,0%	-6,62	-6,60	+0,02	0,13
		Pseudosageceras sp.						
43	400/802	Orthoceratida и Nautilida	»	Внешне неизменная	-5,44	-6,19	-0,78	0,40
		Trematoceras cf. campanile (Mojs.)						
44	31/802	T. cf. campanile (Mojs.)	»	Арг 82,0%	-5,66	-6,15	-0,49	1,00
45	34/802	Pleuromutilus subaratus (Keys.)	»	Арг 95,0%	-9,15	-9,24	-0,09	
46	68	Aulacoceratidae	»	Стенка фрагмокона Арг 97,5%	-6,38	-6,08	+0,30	
		Atractites aff. boeckhi (Stürz)						
47а	69а	То же	»	Стенка фрагмокона Арг 96,5%	-6,18	-6,22	-0,04	
47б	69б	»	»	Диагенетически измененная септа—Ка	-15,30	-15,43	-0,13	

Примечание. № 2—39, 42—47 происходят из Арктической Сибири. Арг—арагонит. Ка—кальцит; пробы отобраны из стенок раковин, особые случаи сопровождаются пояснениями.

Таблица 2

Данные определения δO^{18} в раковинах пелеципод и гастропод триаса и юры Арктической Сибири

№ п. п.	№ образца	Форма	Возраст	Примечание	δO^{18}		
					непрокаленная	прокаленная	разность прокален.—непрокален.
1	506/802*	Двустворки	Оленекский ярус, нижний триас	6—7 мелких створок белого цвета. Из одной конкреции	-6,44		
2	221-927*	Palaeofaxodonta	То же	Один экземпляр	-6,40		
3	507/802	Inoceramidae (Retroceramus sp.), высота створки 135 мм, экз. № 1	Юра	От макушки 125 мм	-3,87	-4,82	-0,95
4	507а/802		»	» 95 мм	-3,92	-4,73	-0,81
5	507б/802		»	» 60 мм	-4,39	-4,86	-0,47
6	507в/802		»	» 15 мм	-4,45	-5,57	-1,12
7	508/802	Inoceramidae (Retroceramus sp.), вы- сота створки 120 мм, экз. № 2	»	От макушки 105 мм	-5,15	-6,08	-0,93
8	508/802		»	» 90 мм	-4,30	-6,28	-1,98
9	508б/802		»	» 65 мм	-4,04	-5,15	-1,11
10	508в/802		»	» 18 мм	-4,68	-5,38	-0,70
11	508г/802		»	» 5 мм	-4,75	-5,47	-0,72
12	286/802*	Гастроподы	Оленекский ярус, нижний триас	Несколько мелких раковин	-15,36		

* В ассоциации с арагонитовыми раковинами цератитов.

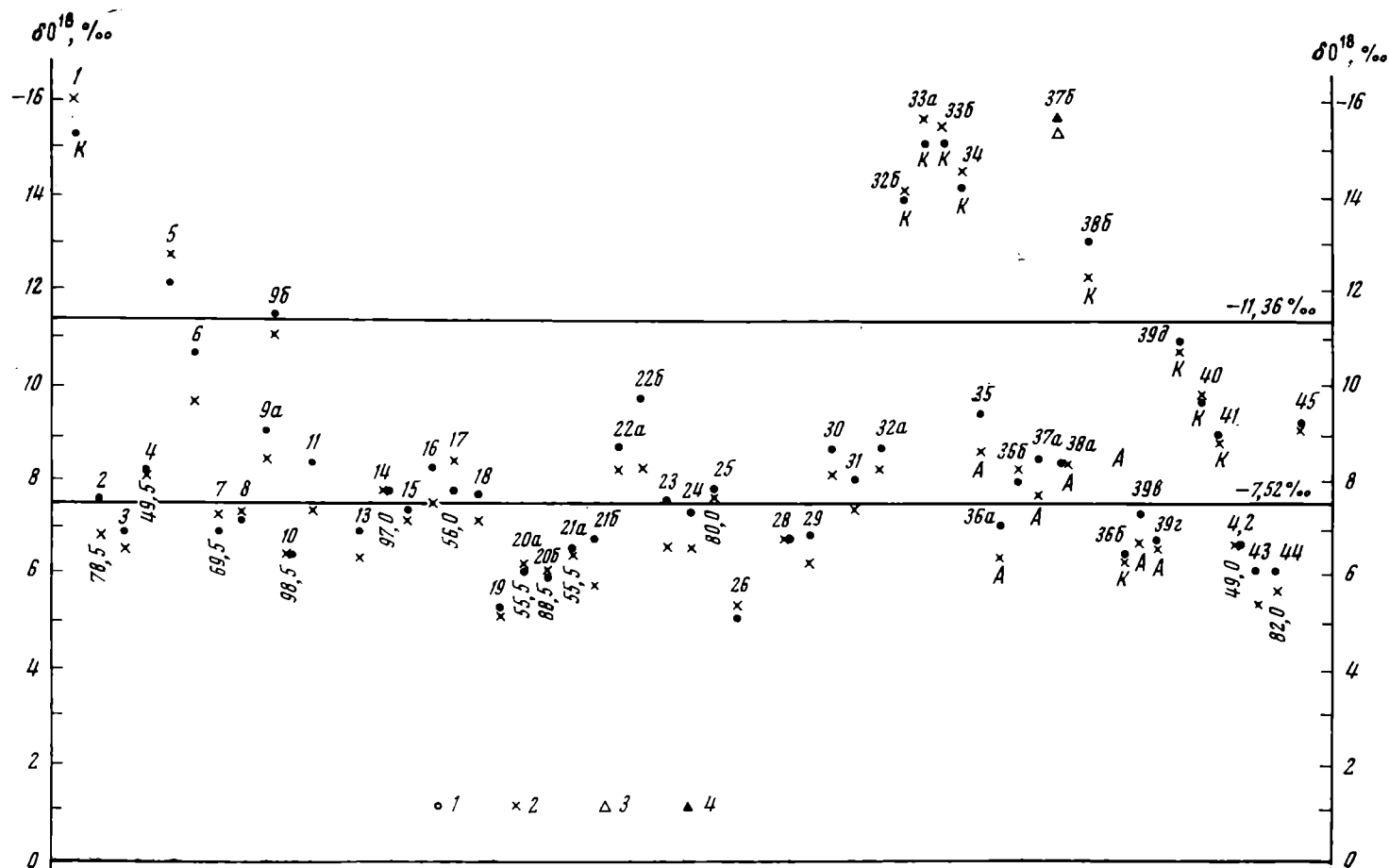


Рис. 2. Значения δO^{18} в раковинах раннетриасовых аммонидей: $-7,52\text{‰}$ — среднее значение из 43 определений неизменных или почти неизменных раковин; $-11,36\text{‰}$ — среднее значение из 15 определений для заведомо вторичного кальцита; 78,5 — содержание арагонита в %; А — раковина сложена существенно арагонитом, К — чистый кальцит
 1 — прокаленная проба карбоната раковины; 2 — непрокаленная проба карбоната раковины; 3 — кальцит, заполняющий раковину, прокаленная проба; 4 — то же, непрокаленная проба. 1—45 — № проб в табл.)

Как мы полагаем, намечается определенная связь между изменением минерального состава и содержанием стронция в раковинах триасовых моллюсков Арктической Сибири. Изотопный состав кислорода в процессе диагенеза оказывается достаточно устойчивым. Содержание O^{18} резко снижается лишь при полной перекристаллизации арагонита либо, возможно, в пределах стадии, непосредственно предшествовавшей образованию вторичного мономинерального кальцита. Исключения из этого правила редки.

Учитывая относительную стабильность содержания O^{18} при значительных изменениях содержания Sr и минерального состава в раковинах аммоноидей и наутилоидей нижнего триаса Арктической Сибири, можно предположить, что уровень наибольших значений δO^{18} (от $-5,0$ до $-8,0$ ‰), характерный для раковин, почти нацело сложенных арагонитом, соответствует первичному или близок к нему.

У раковин, сложенных вторичным кальцитом, значения δO^{18} изменяются от $-6,36$ до $-15,72$ ‰ (табл. 1, рис. 2). Следовательно, как это характерно при вторичном обмене в процессе диагенеза, уменьшается содержание O^{18} .

Особенный интерес представляют раковины, в которых сохранился арагонит, но уже развился и диагенетический кальцит. Для участков таких раковин, сложенных арагонитом и вторичным кальцитом, получены значения δO^{18} , соответствующие указанным двум уровням (рис. 3).

Среднее значение δO^{18} для раковин и участков раковин, неизмененных или слабо затронутых процессами диагенеза, оценивается нами равным $-7,52$ ‰, а для диагенетически измененных карбонатов $-11,36$ ‰ (табл. 1, рис. 2 и 3).

О СОЛЕННОСТИ ВОД БОРЕАЛЬНОГО БАССЕЙНА В РАННЕМ ТРИАСЕ

Значения δO^{18} , соответствующие первому уровню, для раковин моллюсков Арктической Сибири, обладающих почти первичным минеральным составом, связаны, по-видимому, не столько с возможными диагенетическими процессами, предшествовавшими начальным стадиям перекристаллизации, сколько с физико-химическими свойствами вод раннетриасового бассейна, в которых обитали исследуемые моллюски. Здесь необходимо добавить, что примерно одинаковые значения δO^{18} обнаружены не только в малоизмененных скелетных остатках разных групп аммоноидей (15 видов, принадлежащих отрядам Agoniatitida и Ceratitida), но и в таких же арагонитовых раковинах прямых и спирально свернутых наутилоидей (Orthoceratidae, Tainoceratidae), арагонитовых фрагментах белемноидей (Aulacoceratidae), в мелких раковинах

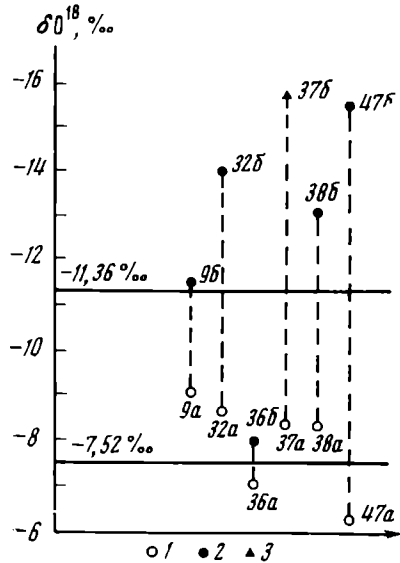


Рис. 3. Изотопный состав кислорода карбонатов неизмененного и измененного участков одной и той же раковины

1 — неизмененный участок; 2 — измененный участок; 3 — кальцит, заполняющий раковину. № 9, 32, 36—38, 47 см. табл. 1

² Здесь и всюду далее имеются в виду значения δO^{18} , полученные при прокаливании проб карбонатов (δO^{18} прокал. в табл. 1 и 2, δO^{18} на всех рисунках).

двустворчатых моллюсков (*Palaeotaxodonta*) того же минерального состава с незначительной примесью кальцита.

Изотопный состав кислорода (т. е. водный фон) и соленость вод морских бассейнов находятся под воздействием одних и тех же факторов, из которых главными являются процессы испарения и конденсации. Поэтому соленость и δO^{18} морских вод изменяются примерно параллельно. При испарении возрастают и соленость и δO^{18} . Привнос атмосферных осадков и речных вод, δO^{18} которых изменяются от -5 до -17% , приводит к понижению и солености, и значений δO^{18} . Особенно существенно уменьшается содержание O^{18} в результате притока талых вод, поскольку значения δO^{18} льдов могут достигать -40 — -50% .

В качестве так называемого стандарта среднеокеанической воды SMOW³ принят изотопный состав кислорода воды открытых участков океанов в интервале глубин от 500 до 1000 м. Величина δO^{18} стандарта равна $0,00 \pm 0,1\%$ при солености 34,7‰.

Следовательно, значения δO^{18} в интервале от $-5,0$ до $-8,0\%$, полученные нами для раннетриасовых моллюсков Арктической Сибири, могут указывать на опреснение вод бассейнов, существовавших в начале мезозоя.

Этот вывод отнюдь не нов. Так, имеются предположения, что в конце пермского периода (джульфинский век) цефалоподы обитали преимущественно в пределах Средиземноморского пояса. Отсутствие джульфинских аммоноидей в водах Бореального бассейна В. И. Устрицкий (1970) объясняет не только температурным фактором, но и изменением солености вод этого бассейна, утратившего связь с морем Тетис. По мнению И. С. Грамберга и Н. С. Спиро (1965), детально изучавших пермские и мезозойские отложения низовьев р. Оленек, наиболее резкое изменение состава морской воды произошло на рубеже перми и триаса. В начале триаса воды Бореального бассейна, вероятно, еще сохраняли следы опреснения, но по содержанию солей уже приблизились к нормальным водам Мирового океана. Создавшиеся более благоприятные условия были использованы эмигрантами из южных областей для заселения Бореального бассейна; к их числу относятся также головоногие моллюски.

Некоторое отклонение в солености вод раннетриасового Бореального бассейна подчеркивается также присутствием в индских отложениях Северо-Востока СССР большого количества конхострак, в отдельных случаях ассоциирующихся с аммоноидеями. В оленекских отложениях хостраки встречаются реже; так, в верховьях Колымы их единичные экземпляры встречены среди скоплений аммоноидей, принадлежащих к роду *Hedenstroemia*.

Высказываются вполне обоснованные предположения о пониженной солености арктических бассейнов и в другие периоды мезозоя. В частности, подобные условия для юрского времени предполагаются А. Галламом (Hallam, 1969). В. Н. Сакс и Т. И. Нальнева (1969) допускают опреснение юрского Бореального бассейна по сравнению с современным Мировым океаном. По их мнению, головоногие моллюски, как стеногалинные организмы, могли приспособиться к изменениям солености только в планетарном масштабе.

Поскольку наши исследования представляют первую попытку изучения ископаемых остатков раннего триаса с помощью изотопного метода, серьезные аргументы, позволяющие судить о степени различия солености бореальных и средиземноморских морей в начале триаса, естественно, отсутствуют. Для этой цели рискованно, вероятно, использовать только результаты изотопного анализа.

Ясно лишь, что в триасовом периоде воды моря Тетис, в отличие от вод Бореального бассейна, имели нормальную соленость или значитель-

³ Сокращение слов Mean Ocean Water Standard.

но более близкую к нормальной. Это заключение основано на различии в значениях δO^{18} , полученных по скелетным остаткам головоногих моллюсков моря Тетис и Бореального бассейна. Ростры рэтских *Austrorotthis* хорошей сохранности из Штирии (Австрия) показывают значения δO^{18} порядка $-1,11$ — $-3,14\%$ (Kaltenegger, 1967). По раковинам различных моллюсков позднего триаса Альп величины δO^{18} изменяются от $-0,05$ до $-2,83\%$ (Fabricius et al., 1970,).

Для понимания истории формирования состава вод Мирового океана в целом, несомненно, значительный интерес представляют сведения о вероятных изменениях солености Бореального бассейна в мезозое (Граммберг, Спиро, 1965; Ивановская, 1967; Берлин и др., 1970; Сакс, 1972), полученные в результате изучения состава бора и поглощенных оснований в осадках, а также исследований изотопного состава и содержания магния в рострах белемнитов. В связи с этим укажем, что изученные нами среднеюрские *Retroceramus* приустьевой части р. Оленек с раковинами арагонит-кальцитового состава характеризуются более высоким содержанием O^{18} по сравнению с раннетриасовыми двусторчатыми и головоногими моллюсками, обладающими раковинами арагонитового состава. Следует отметить также, что рассматриваемые юрские и триасовые моллюски происходят из разных пачек глинистых сланцев единого разреза, обнажающегося в правом борту долины р. Оленек. Значения δO^{18} в пробах двух крупных раковин *Retroceramus*, отобранных из разных слоев, изменяются от $-4,82$ до $-6,28\%$ (табл. 2). Необходимо учитывать, что приведенные значения δO^{18} , по-видимому, не отражают первичный изотопный состав раковин ретроцерамов. В данном случае значения δO^{18} , вероятно, завышены вследствие вторичного обмена⁴. Впрочем, этот факт по существу не влияет на намечающийся вывод.

Степень опреснения Бореального бассейна в раннетриасовую эпоху была заметнее, чем в раннем лейасе — поздней юре. Однако этот вывод не вполне согласуется с данными, основанными на изучении бора в осадках. Повышенные содержания бора в отдельных слоях нижнего триаса могут быть объяснены влиянием эффузивной деятельности (Ивановская, 1967).

Проведенные нами исследования приводят к заключению, что вывод Г. А. Лауэнштама (Lowenstam, 1961) о постоянстве отношений O^{18}/O^{16} и Sr/Ca в океанах в течение последних $2,5 \cdot 10^8$ лет касается в основном моря Тетис и примыкающих к нему открытых акваторий. При рассмотрении отдельных геологических эпох и периодов (поздняя пермь, ранний триас, в меньшей степени юра) этот вывод не может быть распространен на бассейн Арктики.

Полученные результаты можно использовать для объяснения того странного факта, что позднепалеозойские и ранне-среднемеозойские фауны Южного полушария обнаруживают близость к средиземноморским, в то время как бореальные фауны выглядят более эндемичными. Особенности размещения континентальных массивов в Северном и Южном полушариях, вероятно, обеспечили возможность длительного опреснения морских бассейнов в области современной Арктики, но в Антарктике подобные условия, очевидно, не возникли.

Эндемизм головоногих моллюсков Бореального бассейна, связанный прежде всего с воздействием температурного фактора, был, вероятно, усилен своеобразием солевого состава вод этого бассейна. В определенной мере это заключение подтверждается и новейшей находкой спорангия *Pleurogonia* (определение В. А. Красиловой) в морских отложениях нижнего триаса Арктической Сибири, содержащих исследованные нами

⁴ Результаты рентгеноскопии свидетельствуют о присутствии в веществе юрских раковин заметного количества арсенирита, отсутствующего в арагонитовом материале триасовых форм.

остатки цефалопод. Космополитное распространение этих растений, по мнению В. А. Красилова (личное сообщение), свидетельствует об ослаблении климатической зональности в раннем триасе. Вместе с тем различие между тетической и бореальной фаунами цефалопод раннего триаса выражено отчетливо.

Таким образом, при оценке палеобиогеографических обстановок не следует ориентироваться на выявление воздействия только отдельных факторов среды (Hallam, 1972).

Несомненно, совместное влияние солёности и температуры определяет основную картину расселения морских организмов. Как отмечает О. Кинн (Kinne, 1964), биологическое действие температуры и солёности коррелируется различным образом: температура может изменять эффект солёности, и наоборот, солёность может контролировать температуру. В открытом океане, где солёность относительно постоянна, главным фактором, определяющим распространение организмов, является температура. В прибрежных районах распространение водных организмов зависит существенным образом от обоих факторов, с различной степенью преобладания одного из них.

О. Кинн (Kinne, 1964) приходит к заключению, что совместное действие температуры и солёности на расселение современных морских организмов все еще изучено недостаточно. Еще меньше сведений о совместном действии этих двух факторов в прошлом. Можно думать, что в мезозойских бассейнах современного Севера Евразии солёность не была постоянной и выдержанной, так как рядом располагалась обширная суша, с которой поступали пресные воды, береговая линия была изрезанной, вероятно, существовали обширные заливы, в той или иной степени изолированные от основного бассейна.

Заключение о некоторой опресненности вод мезозойских арктических морей, заселенных различными организмами, естественно приводит к пересмотру сложившихся представлений об отношении некоторых групп морских организмов и, в частности, головоногих моллюсков к фактору солёности.

За мезозойскими головоногими уже давно укрепилась «репутация» типично стеногалинных организмов, обитавших в полносолёных бассейнах и не переносивших опреснения. Наши данные об изотопном составе кислорода раковин раннетриасовых головоногих свидетельствуют о том, что эти организмы могли обитать в более или менее опресненных бассейнах.

Тем самым подтверждаются предположения некоторых исследователей о возможности обитания мезозойских головоногих моллюсков в опресненных арктических бассейнах. Так, А. Галлам (Hallam, 1969) отрицает ведущую роль температурного фактора в возникновении фаунистических различий между Средиземноморской и Бореальной палеобиогеографическими областями в юрском периоде. По его мнению, головоногие, а также некоторые другие организмы (иглокожие, брахиоподы и др.), населявшие Бореальную область, могли обитать в условиях некоторого понижения солёности.

О ВОЗМОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР ВОД РАННЕТРИАСОВОГО БОРЕАЛЬНОГО БАССЕЙНА

Неопределенность водного фона морей, занимавших север современной Евразии в начале мезозоя, очевидна. Поэтому пересчет полученных цифр δO^{18} на палеотемпературы пока еще невозможен. Сейчас лишь в самой предварительной форме можно подойти к оценке возможных температур раннетриасовых морей Севера Сибири. Если высказанное в предыдущем разделе предположение о первичности значений δO^{18} примерно в интервале от $-5,0$ до $-8,0\%$ окажется верным, то среднее из подобных

значений можно в первом приближении принять за *водную поправку* (Тейс, Найдин, 1973, стр. 103—106). По нашим подсчетам, среднее значение δO^{18} равно 7,52‰. При такой водной поправке расчет температур (T) для крайних цифр предположительно первичных значений δO^{18} будет следующим: для $-5,05‰$ $T=25,4^\circ$; для $-7,92‰$ $T=12,7^\circ$, а для среднего значения $\delta O^{18}=-7,52$ $T=14,5^\circ$.

ЛИТЕРАТУРА

- Берлин Т. С., Киприкова Е. Л., Найдин Д. П., Полякова И. Д., Сакс В. Н., Тейс Р. В., Хабаков А. В. Некоторые проблемы палеотемпературного анализа (по рострам белемнитов). Геол. и геофизика, № 4, 1970.
- Грамберг И. С., Спиро Н. С. Палеогидрохимия севера Средней Сибири в позднем палеозое и мезозое. Тр. НИИГА, т. 142, 1965.
- Захаров Ю. Д., Худоложкин В. О. Некоторые результаты химико-минералогического исследования раковин мезозойских цефалопод Арктической Сибири и Дальнего Востока. Палеонтол. ж., № 3, 1969.
- Ивановская А. В. Литология мезозойских отложений бассейна нижнего течения р. Лены. «Наука», Новосибирск, 1967.
- Кипарисова Л. Д., Попов Ю. Н. Расчленение нижнего отдела триасовой системы на ярусы. Докл. АН СССР, т. 104, № 4, 1956.
- Сакс В. Н. Некоторые общие вопросы палеогеографии мезозойской эры. Тр. Ин-та геол. и геофиз., т. III, 1972.
- Сакс В. Н., Нальняева Т. И. Верхнеюрские и нижнемеловые белемниты Севера СССР. Роды Pachyteuthis и Acroteuthis. «Наука», 1969.
- Сакс В. Н., Аникина Г. А., Киприкова Е. Л., Полякова И. Д. Магний и стронций в рострах белемнитов — индикаторы температур воды древних морских бассейнов. Геол. и геофизика, № 12, 1972.
- Тейс Р. В., Найдин Д. П. Палеотермометрия и изотопный состав кислорода органогенных карбонатов. «Наука», 1973.
- Устрицкий В. И. Зоогеография позднепалеозойских морей Сибири и Арктики. Уч. зап. НИИГА, палеонтол. и биостратигр., вып. 29, 1970.
- Fabricius F., Friedrichsen H., Jacobshagen V. Paläotemperaturen und Paläoklima in Obertrias und Lias der Alpen. Geol. Rundschau, Bd. 59, № 2, 1970.
- Fabricius F., Friedrichsen H., Jacobshagen V. Zur Methodik der Paläotemperatur-Ermittlung in Obertrias und Lias der Alpen und benachbarter Mediterran-Gebiete. Verh. Geol. Bundesants., № 4, Wien, 1970.
- Hallam A. Faunal realms and facies in the Jurassic. Palaeontology, vol. 12, pt 1, 1969.
- Hallam A. Diversity and density characteristics of Pliensbachian-Toarcian molluscan and brachiopod faunas of the North Atlantic margins. Lethaia, vol. 5, № 4, 1972.
- Hallam A., Price N. B. Environmental and biochemical control of strontium in shells of Cardium edule. Geochim. et Cosmochim. acta, vol. 32, № 3, 1968.
- Jordan R., Stahl W. Isotopische Paläotemperatur-Bestimmungen an jurassischen Ammoniten und grundsätzliche Voraussetzungen für diese Methode. Geol. Jahrb., Bd 89, 1970.
- Kaltenegger W. Paläotemperaturbestimmungen an aragonitischen Dibranchiatenrostren der Trias. Naturwissenschaften, Bd 54, Hf. 19, 1967.
- Kinne O. The effects of temperature and salinity on marine and brackish water animals. II. Salinity and temperature-salinity combinations. Oceanogr. and Marine Biol., vol. 2, London, 1964.
- Lowenstam H. A. Mineralogy, O^{18}/O^{16} ratios, and strontium and magnesium contents of recent and fossil brachiopods and their bearing on the history of the oceans. J. Geol., vol. 69, № 3, 1961.
- Lowenstam H. A. Palaeotemperatures of the Permian and Cretaceous periods. In «Problems in palaeoclimatology». Proc. NATO Palaeoclim. Conf. Univ. Newcastle (1963). London, 1964. Перевод в сб. «Проблемы палеоклиматологии». «Мир», 1968.
- Rogland P. C., Pilkey O. H., Blackwelder B. W. Comparison of the Sr/Ca ratio of fossil and recent mollusc shells. Nature, vol. 224, № 5225, 1969.
- Stahl W., Jordan R. General considerations on isotopic palaeotemperature determinations and analyses on Jurassic ammonites. Earth Planet. Sci. Letters, vol. 6, № 3, 1969.

Биолого-почвенный институт ДВНЦ АН СССР,
Владивосток
Геологический факультет МГУ
ГЕОХИ АН СССР,
Москва

Статья поступила в редакцию
28 мая 1974 г.